CAPÍTULO 1

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

1.1. DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo Francisco de la Fuente Sánchez, Presidente do BCSD Portugal:

"As condições de vida na terra estão a mudar, com o passar do tempo, havendo cada vez mais fatores que estão a alterar o meio ambiente. O desenvolvimento económico das últimas décadas contribui para um grande aumento do consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis. A natureza finita desses recursos naturais, e o impacto ambiental da sua produção e consumo, alertaram o mundo para a necessidade de mudança."

Como a solução a longo prazo para resolver este excessivo consumo de energia está longe de ser conhecida, devemos pensar a curto prazo, e neste contexto, devemos passar a procurar fontes alternativas de energia. É neste âmbito que se aplica a eficiência energética. Esta estratégia e a utilização de energias renováveis são vistas como uma das melhores soluções para conseguir melhorar o meio ambiente e proporcionar ao Homem uma melhor qualidade de vida. A forma como usamos a energia é uma questão chave neste processo. Por isso, é imprescindível haver um aumento da eficiência energética nas operações das empresas, não só para diminuir os custos das mesmas mas também para a diminuição da intensidade energética global [1]. A juntar a isto, é importante saber que de acordo com o actual ritmo de exploração, estima-se que as reservas petrolíferas conhecidas estejam na sua maioria esgotadas até ao ano de 2050 [3]. A eficiência energética constitui-se como uma valiosa oportunidade para as empresas se afirmarem como parte da solução, com criação de valor real para o negócio e simultaneamente para a sociedade e para o ambiente [1]. Em 1992, na cimeira da Terra, começou-se a falar deste grande problema, por consequência do relatório da Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento ("relatório Brundtland") em 1987. Nesta cimeira, defenderam-se medidas para combater esta crise, presentes no documento COM (2001) 264. Em Portugal, este

processo iniciou-se 1998, com o Plano Nacional para o desenvolvimento económico e social (2000-2006). Este documento define vários objetivos ambientais a serem alcançados para o período em questão. De várias discussões foi apresentada uma nova proposta, a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2005-2015), em Julho de 2004, completando a versão da ENDS de 2002. A figura seguinte mostra a dependência energética de Portugal, em 2002 [2], e a figura 2 mostra a desagregação do consumo energético por setor.

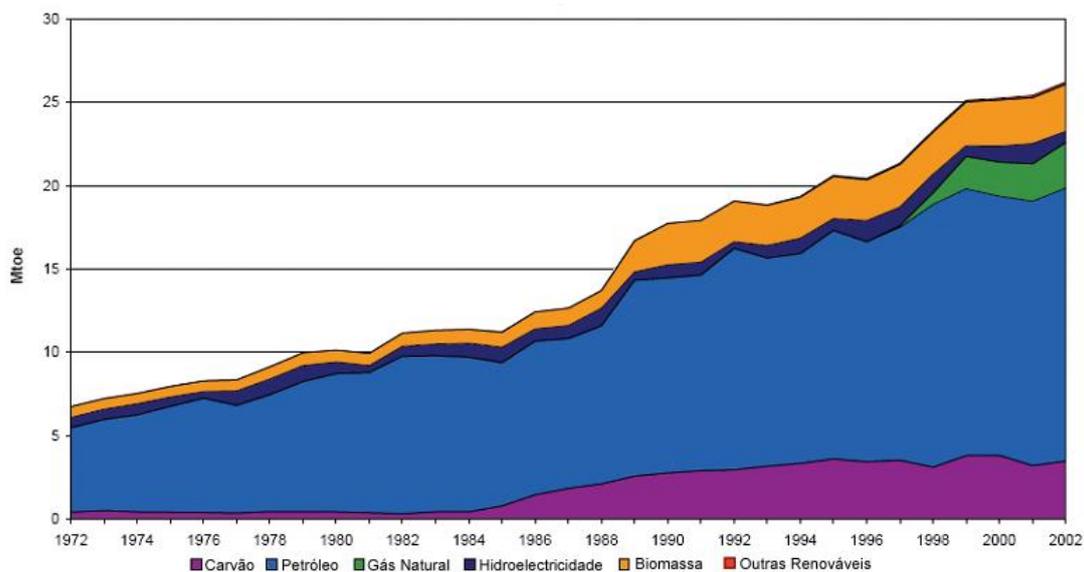



Figura 1 – Dependência energética de Portugal em 2002 [Fonte: IEA]

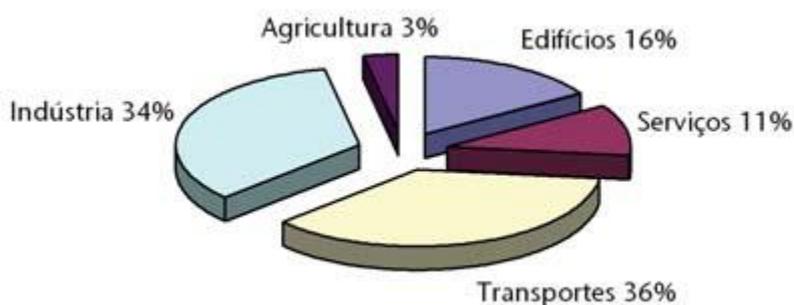



Figura 2 – Desagregação do consumo energético por setor [Fonte: DGGE]

Relativamente ao consumo de energia primária, observando o gráfico da figura 3 é possível visualizar que o petróleo é a principal fonte de energia consumida em Portugal (cerca de 49%), um pouco abaixo está o gás natural com 18%, e em terceiro lugar encontra-se o

carvão com 12%. Deste último podemos verificar que com o passar do tempo tem vido a perder importância. Deste gráfico podemos também ver a diversidade de estruturas de energias, com vista a diminuir a importância do petróleo [4].

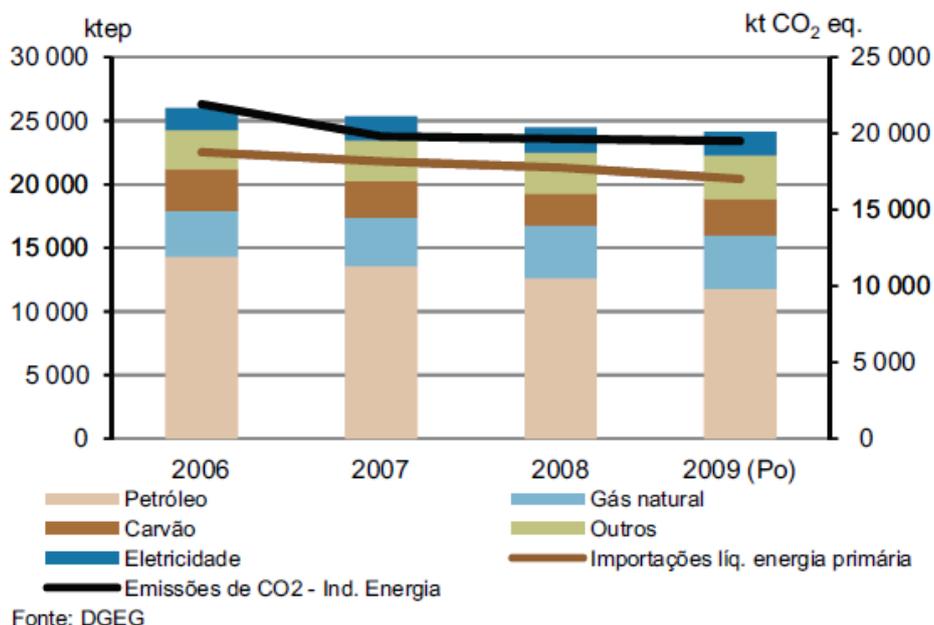



Figura 3 – Consumo de energia primária em Portugal [Fonte: INE]

Portugal continua com uma dependência muito elevada em comparação com os outros países da UE27 [Figura 4]. No mesmo período de tempo, a UE27 registou valores médios de 54% em relação a Portugal que apresenta valores de 82%. Em 2020 prevêem-se valores na ordem dos 74%.

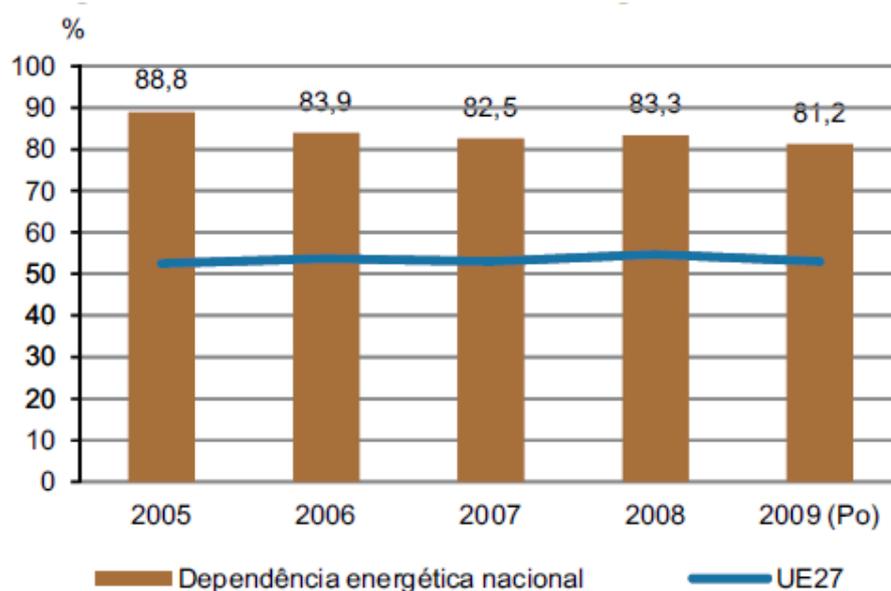



Figura 4 – Dependência energética nacional [Fonte: INE]

O sector com maior consumo de energia foi o dos transportes apresentando valores na ordem dos 37%, logo de seguida vem o sector industrial com (29 %). Este sector apresenta uma ligeira descida em relação aos anteriores devido à crise económica que o mundo em geral atravessa [Figura 5]. O sector doméstico é o que requer maior preocupação pois é o único que não apresenta valores estáveis [4].

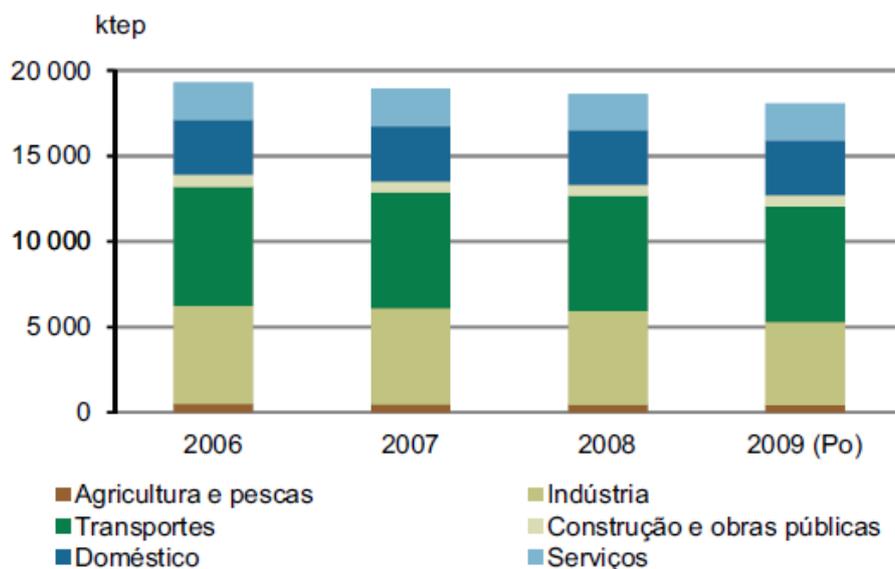
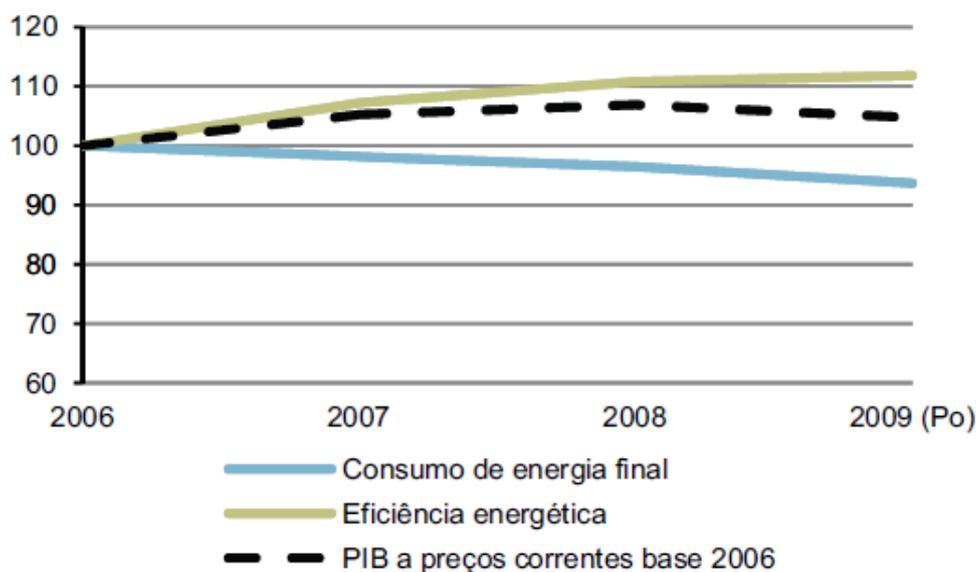



Figura 5 – Consumo de energia final por sector de actividade [Fonte: INE]

A eficiência energética da economia é calculada tendo em conta o PIB e o consumo de energia final, traduzindo a riqueza gerada por cada unidade de energia final consumida. Como podemos ver pela figura 6, Portugal tem baixa eficiência energética final, pois como já vimos anteriormente é fortemente dependente do petróleo (energia primária) [5].

Figura 6 – Eficiência energética da economia [Fonte: INE]

1.2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

O termo "eficiência" descreve, segundo Hordeski (2005), a capacidade de equipamentos que operam em ciclos ou processos, produzirem os resultados esperados. Numa visão física, o conceito de "eficiência" estaria limitado aos processos em que há conversão de energia e em que as formas inicial e final, são visíveis ou percetíveis – energia cinética, potencial, e elétrica.

O conceito apresentado pela International Energy Agency (IEA, 2007) – de que a eficiência energética é a obtenção de serviços energéticos, como produção, transporte e calor, por unidade de energia utilizada, como gás natural, carvão ou eletricidade – é análogo ao apresentado por Raskin et al. (2002), que utiliza o termo "atividade" para relacionar o uso de energia, ou melhor, a necessidade de sua redução.

Adota-se então uma definição geral que resume esses conceitos: eficiência energética é a relação entre e a quantidade de energia final utilizada e de um bem produzido ou serviço realizado.

Dentro deste conceito, a eficiência está associada à quantidade efetiva de energia utilizada e não à quantidade mínima teoricamente necessária para realizar um serviço, conceito que se aproximaria do potencial de eficiência. Além disso, observe-se que o conceito adotado é aplicável tanto à manufatura, em que há um bem físico cujo conteúdo energético pode ser delimitado, quanto aos serviços, em que o conteúdo energético não é por vezes tão claramente definido, embora neste caso seja mais pertinente considerar a energia requerida para prestação do serviço.

Patterson (1996) destaca o entendimento de "eficiência energética" como um processo associado a um menor uso de energia por cada unidade de produção.

1.3. BENEFÍCIOS ECONÓMICOS E AMBIENTAIS

Nos últimos 150 anos o clima tem-se tornado progressivamente mais instável e mais quente. Se nada for feito, estas alterações têm tendência para se acentuar e para afectar negativamente o clima, com efeitos a nível dos recursos hídricos, das zonas costeiras, da agricultura, da saúde humana, da energia, e da biodiversidade.

A ocorrência destas alterações climáticas está diretamente relacionada com o crescimento das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE), em que o dióxido de carbono (CO_2) assume um papel preponderante. Outros gases relevantes para o efeito de estufa incluem o metano (CH_4), os óxidos de azoto (NOx) e os compostos fluorados. As emissões de CO_2 e de NOx produzidas pelo Homem são maioritariamente atribuídas ao sector energético e aos transportes.

A alteração rápida da temperatura da Terra [Figura 7] pode originar ocorrências meteorológicas mais extremas (furacões, inundações, secas) com graves consequências para a segurança das populações, para o desenrolar das actividades económicas, para as infra-estruturas, para o património, e para os ecossistemas. As mudanças nos padrões agrícolas, na utilização do solo, nos recursos hídricos e na migração da mão-de-obra poderão ter repercussões enormes na economia e na sociedade. Estes impactos teriam consequências económicas e sociais enormes.

Ao promover a sustentabilidade de forma a travar as alterações climáticas procuramos não apenas benefícios para o ambiente, mas também a nível económico e social. Com a ratificação do Protocolo de Quioto foram impostos os níveis de redução de Gases Efeito de Estufa (GEE) aos países que o ratificaram. A União Europeia constitui uma das signatárias do protocolo, comprometendo-se a reduzir, como um todo, em 8% as suas emissões de GEE, no período de 2008 a 2012, em relação aos níveis existentes no ano de referência (1990). Dadas as condições económicas, ambientais e sociais, a UE estabeleceu que Portugal poderia aumentar as suas emissões de GEE em 27%, durante o período mencionado, objetivo esse cujo cumprimento se afigura muito problemático. No seu todo a União Europeia-15 apresentava no ano 2000 um excesso de 2% relativamente à trajectória de evolução linear das emissões de GEE no período 1990-2010 para o compromisso de Quioto, enquanto Portugal apresentava um excesso superior a 20%. Embora o desenvolvimento sustentável exija a alteração de opções tecnológicas e de comportamentos para evitar consequências negativas para a sociedade no seu todo, também oferece grandes oportunidades. Cada vez mais se reconhece que uma política ambiental rigorosa não tem que travar o crescimento económico, mesmo que medido de forma convencional. São conhecidos exemplos de países e de empresas que têm conseguido conciliar esses objetivos com elevado sucesso [2].

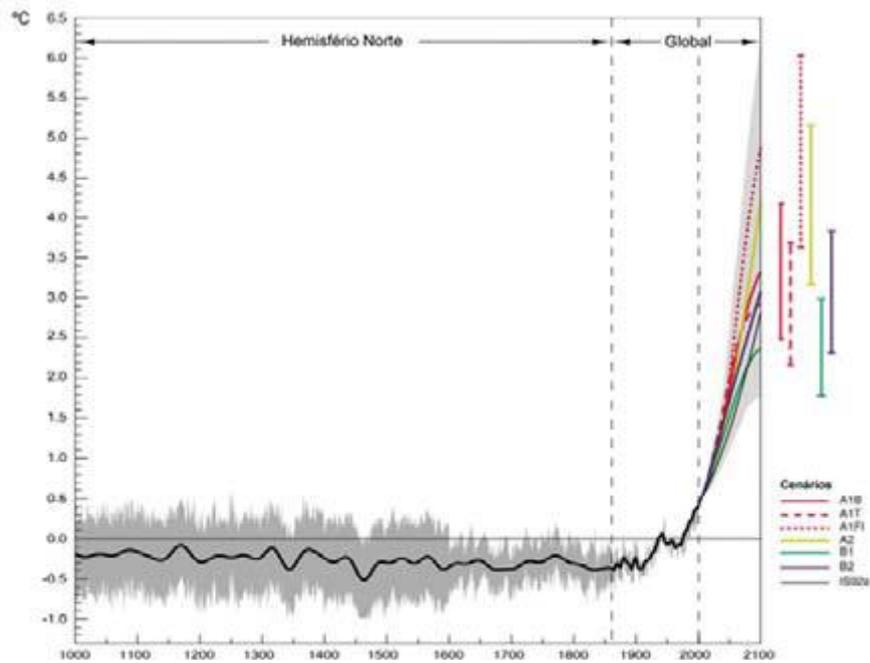



Figura 7 – Alteração da temperatura média na terra desde o ano 100 e projeções das variações até ao ano 2100 [Fonte: IPPC]

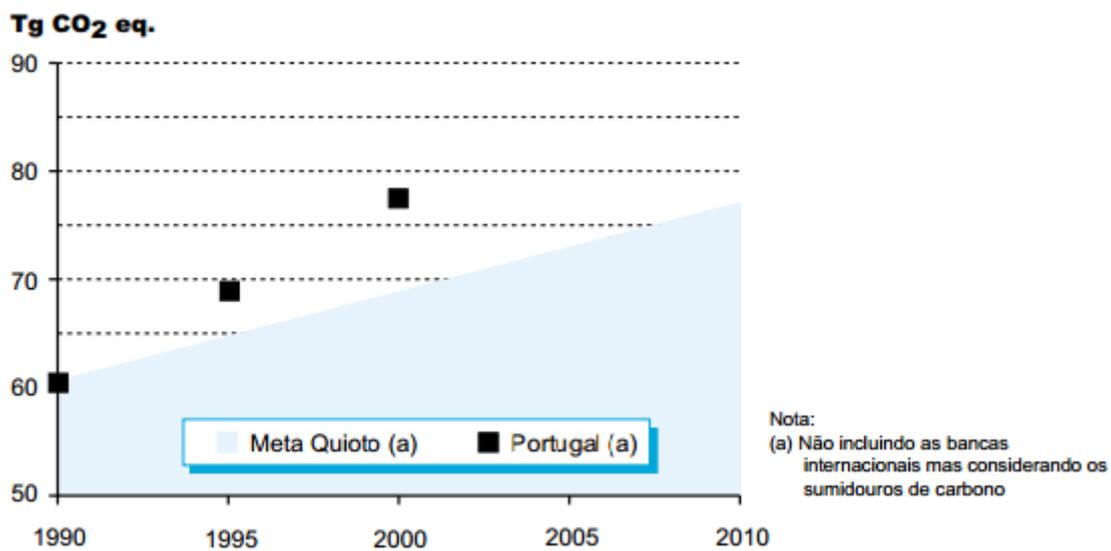



Figura 8 – Evolução das emissões de GEE em Portugal entre 1990 e 2000 (estimativa) e comparação com a meta definida para 2010, no âmbito da partilha de responsabilidades entre os Estados Membros da EU, tendo em conta o protocolo de Quioto [Fonte: DGA]

1.4. O CAMINHO A SEGUIR

Para alcançar o desenvolvimento sustentável a nível energético existem três estratégias complementares [Figura 9]:

- Intensificação da eficiência energética e da cogeração;
- Aumento das energias renováveis;
- Fixação de CO_2.

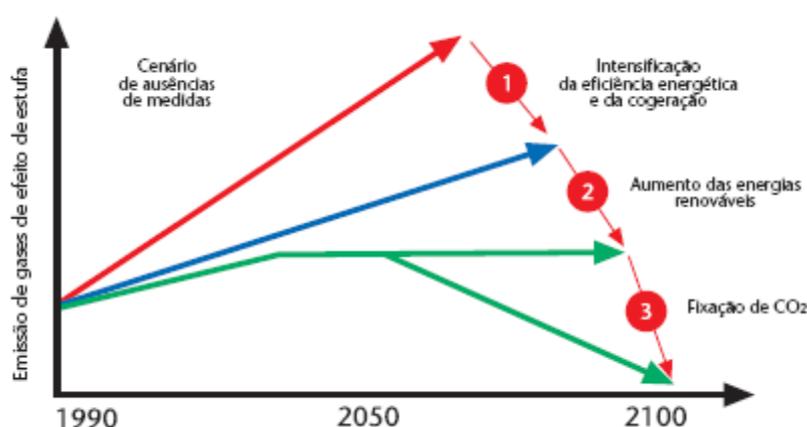



Figura 9 – Estratégias para o desenvolvimento sustentável

Intensificação da eficiência energética, cogeração e trigeração

As crises energéticas dos anos 70 motivaram a economia mundial para aumentar a eficiência energética, tendo sido obtidos nas últimas décadas ganhos elevados de eficiência, particularmente na Europa Ocidental e no Japão. Portugal, com consumos de energia per capita que representam cerca de metade da média europeia, tem experimentado o agravamento da intensidade energética na sua economia (rácio do consumo de energia pelo produto interno bruto), contrariamente à generalidade dos países da União Europeia. Portugal, para criar a mesma quantidade de riqueza, necessita de maior quantidade de energia que os seus parceiros comunitários. Esta situação é preocupante dada a elevada dependência externa de Portugal em energia primária.

O consumo final total de energia na União Europeia é aproximadamente 20% superior ao justificável com base em considerações puramente económicas, conforme explicitado no

Livro Verde da Comissão "Para uma estratégia europeia de segurança do aprovisionamento energético". Isto significa que a selecção dos equipamentos mais apropriados, associada a boas práticas da sua utilização, reduziria os consumos em 20%, traria benefícios económicos aos utilizadores, e produziria uma redução substancial de emissões. Perante este cenário elaborou-se uma proposta de Diretiva Comunitária, Diretiva dos Serviços de Energia, que tem como objetivos a poupança de uma quantidade de energia que após a aplicação da diretiva seja igual: nos primeiros três anos, a pelo menos 3%; nos três anos seguintes a pelo menos 4%; e nos três anos subsequentes a pelo menos 4,5% da quantidade de energia distribuída e/ou vendida a clientes finais [3].

Como complemento ao incremento da eficiência energética, surge a produção de energia com base na cogeração e na trigeração.

Cogeração e Trigeração

Consistem num sistema alternativo de produção de energia elétrica de alta eficiência energética, que utiliza a produção conjunta de eletricidade ou energia mecânica e energia térmica útil para o seu aproveitamento em processos. Obtém-se uma poupança na energia primária através do aproveitamento simultâneo de calor e uma melhoria do rendimento da instalação comparativamente a uma geração convencional.

A **cogeração** é definida como um processo de produção e utilização combinada de calor e eletricidade, proporcionando o aproveitamento de mais de 70% da energia térmica proveniente dos combustíveis utilizados nesse processo. Embora utilize processos de aproveitamento de calor que tipicamente provêm dos gases de escape de um Ciclo Brayton à semelhança de sistemas a Ciclo Combinado, estes processos são essencialmente distintos na prática e aplicação: Ciclo Combinado possui dois ciclos termodinâmicos, normalmente Brayton-Rankine e produz um produto final (eletricidade). Na Cogeração, o sistema parte de um recurso, com um ciclo termodinâmico, obtendo-se dois produtos finais, acima referidos [25].

As figuras seguintes mostram um balanço energético de um sistema convencional e de um sistema de cogeração.

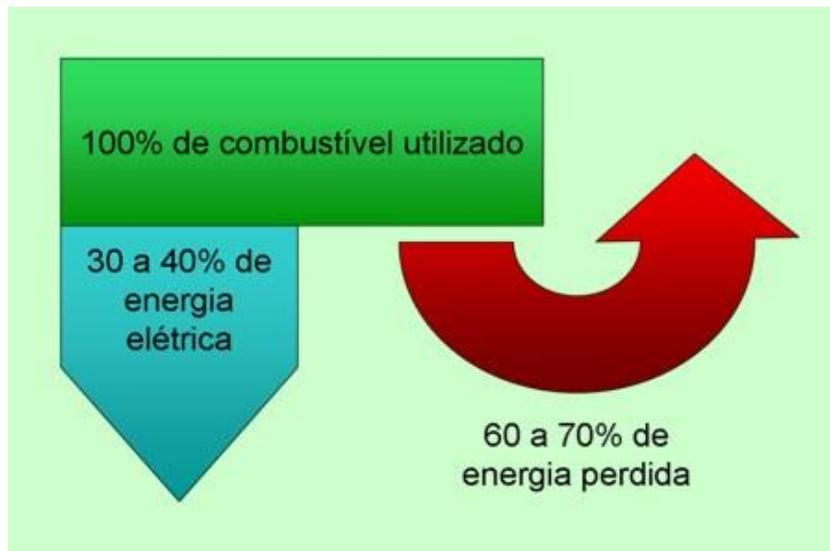



Figura 10 – Balanço energético de um sistema convencional [26]

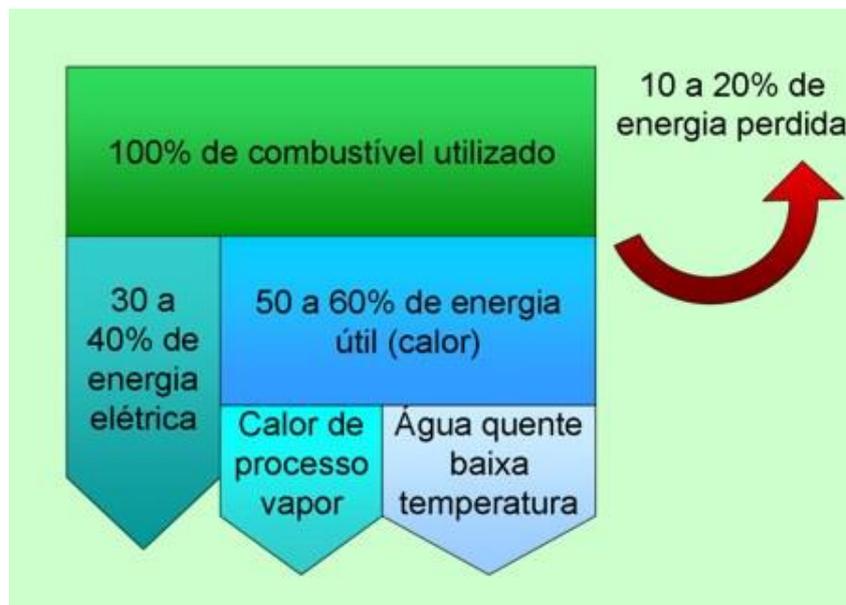



Figura 11 – Balanço energético de um sistema de cogeração [26]

Nas indústrias que necessitam de sistemas de refrigeração no seu processo de fabrico, a integração da instalação de frio dentro de um sistema de cogeração permite a utilização de uma parte da energia gerada para este fim. A produção conjunta de eletricidade, calor e frio denomina-se de **trigeração**.

A figura seguinte mostra um balanço energético a um sistema de trigeração.

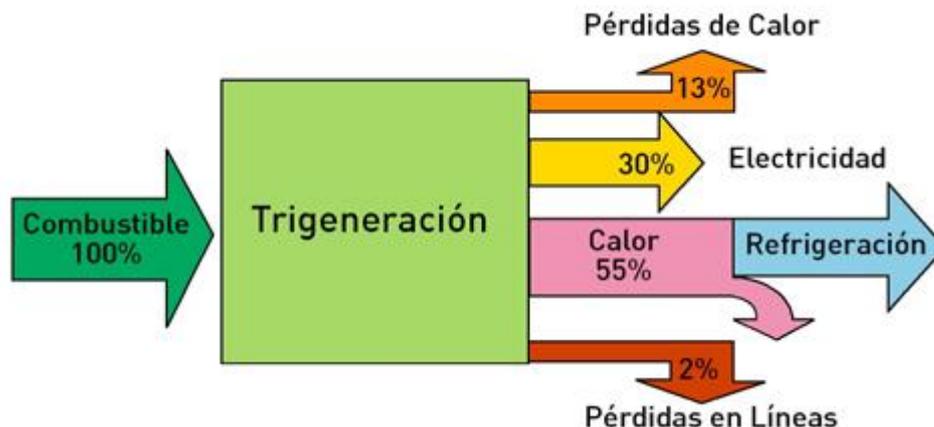



Figura 12 – Balanço energético de um sistema de trigeração [Fonte: GNF]

Aumento das energias renováveis

A energia elétrica gerada pelas fontes de energia renováveis resulta do aproveitamento de recursos naturais tais como as energias hídrica, eólica, solar, e das ondas. Estas fontes são abundantes, embora necessitem de investimentos consideráveis para o seu aproveitamento em larga escala. O seu aproveitamento, se realizado de acordo com práticas adequadas, terá um impacto reduzido no meio ambiente, aumentando a diversidade da oferta de energia a longo prazo, e reduzindo a poluição e a emissão de gases de efeito de estufa.

Os consumos de energia na Europa com origem em fontes de energia renovável correspondiam em 1999 a apenas cerca de 6%. A União Europeia definiu como objetivo para 2010 atingir uma quota de 12% de contributo das energias renováveis em relação ao consumo final de energia primária (Diretiva 2001/77/CE). A contribuição da energia elétrica para este propósito global traduz-se no facto de 22% da energia elétrica consumida em 2010 ser de origem renovável. Para Portugal este objetivo é de 39%. Por razões de fiabilidade no abastecimento de electricidade é também desejável um forte incremento das centrais de biomassa, cuja produção é previsível, e que poderiam utilizar os cerca de 6 milhões de toneladas de resíduos florestais gerados anualmente em Portugal com externalidades muito positivas (redução acentuada do risco de incêndios com a limpeza das florestas e a dinamização da economia do interior).

Numa política de expansão equilibrada das energias renováveis, os aproveitamentos hídricos reversíveis de fins múltiplos também merecem ser considerados devido ao potencial existente, à sua capacidade de integrar fontes intermitentes e ao seu impacto em diversas actividades económicas. A mais longo prazo, a energia solar e a energia das ondas, com a previsível redução dos custos das tecnologias de conversão, terão um papel relevante no abastecimento de energia em Portugal [3].

Fixação de CO_2

Complementarmente à promoção da eficiência energética e das energias renováveis é importante que sejam desenvolvidas outras opções tecnológicas para dar inevitável continuidade ao uso dos combustíveis fósseis sem emissões de CO_2 para a atmosfera, o que pode ser conseguido através da captura e armazenagem de CO_2. Depois do combustível fóssil ser utilizado para produzir energia elétrica ou outra forma de energia, o CO_2 é separado dos gases de saída nas condutas, sendo armazenado a longo prazo. Encontram-se em estudo diversas tecnologias para a concretização deste processo.

Para a armazenagem de CO_2 são requeridos grandes reservatórios por exemplo, depósitos de sal-gema, minas de carvão, campos de petróleo ou de gás abandonados, aquíferos profundos, ou no fundo do oceano [Figura 13]. Os campos de petróleo ou de gás já explorados tornam-se particularmente atrativos uma vez que a sua geologia é conhecida, assegurando, em princípio, uma armazenagem a longo prazo, com a possibilidade de permitir uma extração adicional dos recursos explorados.

Uma alternativa à remoção, transporte e armazenagem de CO_2 consiste na libertação deste gás para a atmosfera, aumentando os sorvedouros naturais tipicamente conseguido com o aumento do crescimento de árvores. Neste caso as opções globais são:
• Redução da desflorestação;
• Florestação de zonas que não tenham sido previamente florestadas;
• Reflorestação de áreas que já tenham sido florestadas.

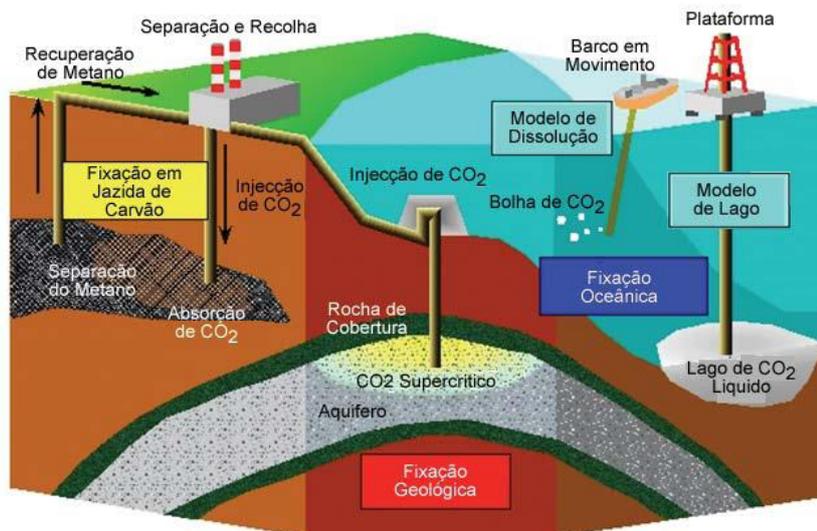



Figura 13 – Alguns potenciais métodos de fixação de CO_2 [3]

A florestação, incluindo a reflorestação de zonas ardidas, permite criar sumidouros de CO_2, para além de gerar recursos endógenos para um conjunto diversificado de actividades económicas. Em Portugal cerca de 2 milhões de hectares de terrenos improdutivos podem ser florestados, com importantes benefícios económicos e ambientais [3].

1.5. TIPOS DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

É de todo relevante o apuramento de indicadores que expressem a variação na eficiência energética. Na indústria, os indicadores energéticos normalmente utilizados são o consumo específico de energia (CEE), a intensidade energética (IE) e a intensidade carbónica (IC) [6].

a) **Consumo Específico de Energia**: calcula-se com base no consumo total anual de energia e o volume de produção anual.

$$CE = \frac{C}{P}[kgep/t]$$

C – Consumo total de energia [kgep/ano]

P – Volume de produção [t/ano]

b) **Intensidade Energética**: calcula-se com base no consumo total anual de energia e o Valor Acrescentado Bruto das actividades da empresa.

$$IE = \frac{C}{VAB}\left[kgep/€\right]$$

C – Consumo total de energia [kgep/ano]

VAB – Valor acrescentado bruto das actividades da empresa ligadas a essa unidade industrial [€/ano]

c) **Intensidade Carbónica:** calcula-se com base no consumo total anual de energia e a quantidade de emissão anual de gases de efeito de estufa (GEE), em unidades de kg de CO2 equivalente.

$$IC = \frac{kgCO_2e}{C}\left[kgCO_2e/tep\right]$$

C – Consumo total de energia [kgep/ano]

KgCO2e – Emissão anual de GEE [KgCO2e /ano]

Nas auditorias industriais, é realizado um Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PREn) que estabelece metas relativas ao consumo específico e à intensidade energética e carbónica das empresas com base nas medidas de racionalização energética.
As metas exigem uma melhoria do consumo energético e da intensidade energética de pelo menos 6% em 6 anos, para as instalações com consumos intensivos de energia igual ou superior a 1000 tep/ano, ou melhoria de 4% em 8 anos para as restantes instalações.

Segundo Patterson (1996), podem ser detectados quatro grupos mais influentes de indicadores de eficiência energética [7]:

1) **Termodinâmicos:** baseados inteiramente na ciência da termodinâmica, indicam a relação entre o processo real e o ideal quanto à necessidade de uso de energia;
2) **Físicos-termodinâmicos:** consideram a quantidade de energia requerida em unidades termodinâmicas, mas as saídas (produtos) são expressas em unidades físicas;
3) **Económicos-termodinâmicos:** têm como referência a energia requerida em unidades termodinâmicas, mas os produtos são expressos em unidades económicas (valores monetários);
4) **Económicos:** tanto a energia requerida como os produtos são expressos em grandezas económicas.

O primeiro grupo refere-se às análises segundo as leis da termodinâmica, da eficiência da transformação de uma forma de energia em outra (eficiência energética); o segundo avalia os consumos energéticos necessários para produzir um determinado bem ou serviço e nesse caso, a energia que entra no sistema é mensurada em unidades termodinâmicas convencionais e a energia que sai do sistema em unidades físicas – exemplo: Energia que entra/tonelada de produto – (Consumo Específico de Energia); o terceiro é um indicador híbrido no qual o produto do processo é mensurado a preços de mercado e a energia que entra por unidades termodinâmicas convencionais – exemplo: Energia/PNB - (intensidade energética); o quarto indicador mede as mudanças na eficiência energética, puramente, em valores monetários tanto da energia que entra, quanto da que sai do sistema (apud Patterson, 1996:377) [8].

Indicadores termodinâmicos

Os indicadores termodinâmicos têm sido o caminho mais natural para mensurar a eficiência energética, tanto que a termodinâmica atualmente é frequentemente definida como a ciência de processos energéticos. Porém, surpreendentemente, as medidas termodinâmicas de eficiência energética não são tão satisfatórias para medir a eficiência energética quanto podem parecer.

De qualquer modo, um atrativo para usar esse método quantitativo para medir a eficiência energética é que pode ser calculada no tocante à “função estado” do processo. Isso significa que é produzido por medidas únicas e objetivas dadas por um processo em um meio ambiente particular (descrito por temperatura; pressão; concentração, fórmula química; espécie nuclear; magnetização; etc.). Desse modo, para qualquer mudança nas

condições físicas resultantes da dinâmica de alguns processos, as mudanças associadas, aos valores da “função estado”, podem ser unicamente medidas ou atribuídas (Patterson, 1996:378).

A Primeira Lei da Termodinâmica, também conhecida como Princípio de Conservação de Energia, pode ser descrita como “A soma da energia mecânica e da quantidade de calor (que é igual à energia total) de um sistema isolado é constante” (Goldemberg, 1983:35). Nesse caso a energia total do sistema inicial é igual à energia do sistema final, qualquer que seja o caminho seguido pelo sistema para passar do estado inicial ao final. A energia total do sistema é função do estado deste e não do caminho seguido pelo mesmo para chegar a esse estado.

A eficiência da primeira lei, ou entalpia, pode ser calculada por:

$$\text{Entalpia} = \frac{\text{Calor transferido ara o aparelho realizar sua finalidae } (\Delta \text{energia})}{\text{Energia que entra no aparelho}}$$

O que está contido nesta definição é apenas o facto de que energia se conserva, mas não a melhor forma de se usá-la (Goldemberg, 1983:45). A utilização dessa lei não propicia uma ideia realista das melhorias, que podem ser realizadas em um dado sistema, para que se obtenha um melhor desempenho. Tal eficiência também não leva em consideração a qualidade da energia nem na entrada nem na saída do sistema. Não é feita a distinção entre fontes com excelente qualidade energética, que são mais eficientes e produtivas, e fontes de baixa qualidade e menos produtivas (apud Goldemberg. 1996:378).

A Segunda Lei da Termodinâmica parte do princípio de que as diferentes formas de energia têm qualidades que lhes são características, chamada entropia. Essas formas de energia não podem ser indiferentemente convertidas, uma nas outras (o que é permitido pelo Princípio de Conservação de Energia) e determina a direção que essas transformações podem ocorrer, no Universo. A energia flui sempre de uma maneira tal que a entropia do sistema aumente, (apud Goldemberg, 1983). Isso acontece, porque a conversão do estoque de energia interna da biosfera (recursos fósseis, e "fundíveis") passa necessariamente, ao

menos na tecnologia conhecida, pelo ciclo térmico irreversível e portanto acelera a entropização (exceção a esta regra é a célula de combustível).

Segundo Lizarraga (1987), existem três questões básicas na formulação da Segunda Lei da Termodinâmica: a) degradação da energia; b) sentido de evolução dos processos; c) critérios de equilíbrio e estabilidade. Podem-se ainda citar outras consequências como a determinação do rendimento teórico máximo dos ciclos e máquinas térmicas, a avaliação quantitativa da degradação da energia provocada pela irreversibilidade, a definição de escala termodinâmica de temperatura e o desenvolvimento de meios para avaliação de propriedade, tais como: energia interna e entalpia. Estas referem-se às propriedades que são mais rapidamente obtidas experimentalmente.

Segundo Patterson (1996:380), a Segunda Lei da Termodinâmica tem como base a definição do limite ideal dos processos que é um ponto importante para a teoria da conservação de energia. Tal lei dá uma definição de eficiência termodinâmica de 100% ou a unidade, permitindo que se tenha uma ideia das melhorias que podem ser realizadas pelos técnicos, porém a sua aplicabilidade é restritiva ao mundo dos sistemas ideais.

$$\varepsilon II = \frac{\text{Consumo teórico mínimo de energia para realizar uma dada tarefa}}{\text{Energia efetivamente consumida para realização da tarefa em questão}}$$

$$\varepsilon II = \frac{W}{Q_0}$$

Onde: W= energia útil e Q_0= energia requerida.

A primeira limitação desse método é que assume perfeita reversibilidade, que é equivalente a assumir, reduzir os processos infinitesimalmente. Os processos no mundo real são realizados em um período de tempo finito. A segunda limitação do método "limite ideal" de definição de eficiência energética é que este não contabiliza a entrada de energias indiretas. No método de "limite ideal", por não incluir a entrada de energias indiretas, o "problema da qualidade de energia" permanece e inevitavelmente terá a multiplicidade de diferentes tipos de energia que necessitam, de alguma forma, de equivalência.

Alguns estudiosos defendem o uso desses indicadores, tendo como base de cálculo a exergia, porém esse método não resolve as dificuldades apresentadas. Segundo Nogueria et alli. 1994 para Baehr, (1965) pode-se definir "a exergia como a parte transformável da energia, e a energia como a parte intransformável" e para Szargut et al (1988) "a exergia,

de uma forma geral, é a capacidade de um tipo de energia ser convertido em outros tipos”.

Os processos termodinâmicos podem ser reversíveis ou irreversíveis. Nos processos reversíveis toda energia convertida de uma forma em outra pode e consegue ser aplicada para restaurar o sistema e o meio ambiente ao estado inicial, antes do início do processo, sem deixar quaisquer vestígios da ocorrência do processo. Assim, os processos reversíveis são ideais. Nos processos irreversíveis tal restauração não é possível, porque ocorrem perdas na transformação de uma forma de energia em outra.

Segundo Kotas (1995) as formas de energia podem ser classificadas em ordenadas e desordenadas. As principais características da energia ordenada, segundo Oliveira Júnior (1996:19), são: 1- a conversão de uma forma de energia ordenada em outra é total, se realiza reversivelmente; 2 - podem ser analisadas apenas pela Primeira Lei da Termodinâmica; 3 – os parâmetros do meio ambiente não são necessários para o cálculo de energia ordenada transferida de um sistema a outro; 4 - a transferência de energia ordenada, entre dois sistemas, manifesta-se como uma interação do tipo trabalho na fronteira que separa os sistemas (trabalho é energia ordenada em trânsito).

As condições para haver conversão de energia desordenada (energia interna, radiação térmica, energia química) em energia ordenada, segundo Oliveira Junior, (1996:20) são:

- Processos de conversão devem ser reversíveis;
- Limite superior de conversão depende dos parâmetros termodinâmicos do sistema no qual a energia está armazenada e daqueles do meio ambiente;
- A análise dos processos de conversão deve envolver o uso da Segunda Lei da Termodinâmica;
- A conversão de energia é em geral acompanhada por mudanças nas entropias dos sistemas que estão interagindo.

O objetivo principal da análise exergética é detectar e avaliar quantitativamente as causas da imperfeição termodinâmica do processo sob consideração, permitindo localizar os pontos onde ocorrem as destruições de exergia e classificá-las segundo a magnitude das perdas (Horta Nogueira et al, 1994). As diferenças entre energia e exergia, segundo Szargut (1980) podem ser observadas na figura 15.

Energia	Exergia
Obedece à lei da conservação	Não está sujeita a essa lei
É função do estado da matéria sob consideração.	É função do estado da matéria sob consideração e da matéria do meio ambiente.
Pode ser calculada baseando-se num estado de referência qualquer.	O estado de referência é imposto pelo meio ambiente, o qual pode variar.
Aumenta com o crescimento da temperatura.	Para processos isobáricos alcança um mínimo na temperatura do meio ambiente; nas temperaturas menores ela aumenta quando a temperatura diminui.
No caso do gás ideal não depende da pressão.	Sempre depende da pressão.
Para um vácuo ideal iguala-se a zero.	Para um vácuo ideal é positiva.

Figura 15 – Comparação entre energia e exergia

Este tipo de análise pode ser utilizado no projeto de equipamentos ou sistemas, estabelecendo como objetivo a minimização da destruição de exergia, juntamente com outros aspectos. Este método também possibilita separar a perda de exergia por unidades do processo, porém como alerta Szargut et al (1988) mesmo assim é impossível avaliar exatamente as perdas de exergias atribuídas a diferentes tipos de irreversibilidades, a menos que suposições arbitrárias sejam feitas com a finalidade de separar os fenómenos físicos e químicos.

Outro item importante que se deve conhecer para melhor estudar os indicadores termodinâmicos são as diferenças entre energia útil e energia final. Para tal fim, será descrito o processo de transformação da energia primária até chegar à diferença entre estes tipos de energias.

As fontes energéticas apresentam-se em diferentes formas na natureza, em distintos níveis de refinamento que vão da lenha à nuclear. Numa avaliação global de um sistema energético é conveniente expressar todas as formas de energia de maneira unificada. Para definir qual o indicador de eficiência energética mais adequado a ser desenvolvido é importante que se caracteriza o tipo de energia que será utilizado para a avaliação do sistema.

Pode-se classificar as fontes energéticas em primárias e secundárias, que são os produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como petróleo, gás natural, carvão mineral, minério de urânio, lenha. Outras formas de energia primária para produção de energia elétrica são: hidráulica, eólica, solar e nuclear. Os produtos primários, como por exemplo o petróleo, passam por um processo de transformação que os

convertem em formas mais adequadas para os diferentes usos. O local onde se realiza este processo é denominado genericamente de centro de transformação. Nesse exemplo, o centro de transformação é a refinaria, onde são obtidos produtos de uso direto, como a gasolina, o óleo Diesel, o querosene, o gás liquefeito e outros classificados como energia secundária. Em alguns casos, uma fonte secundária, como o óleo combustível obtido do petróleo, passa por um outro centro de transformação onde é convertido em eletricidade [Figura 16].

Pode-se definir a energia final como aquela recebida pelo utilizador nos diferentes setores, seja na forma primária, seja na secundária. A chamada energia final só o é do ponto de vista do setor energético e, simplificando, representa a forma em que a energia é comercializada.

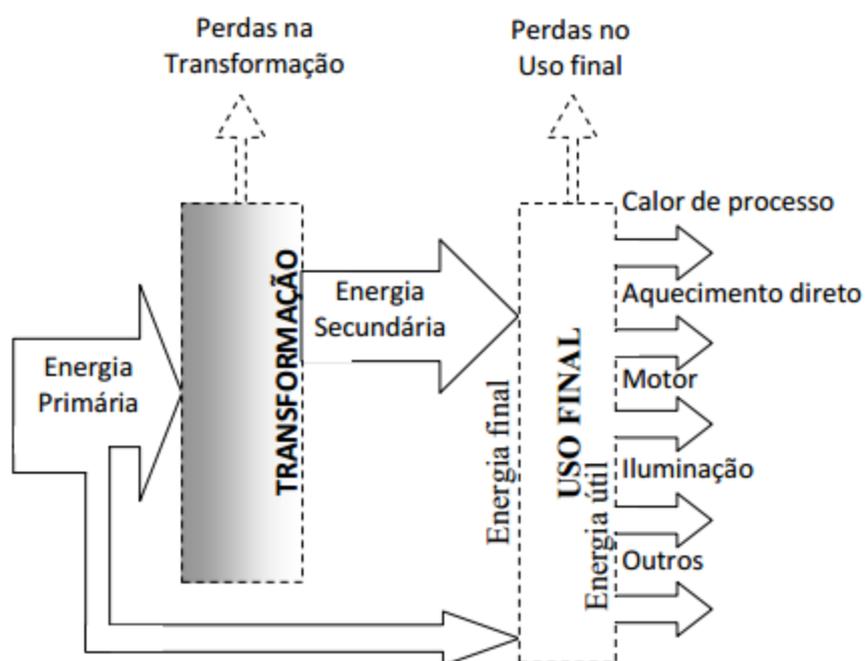



Figura 16 – Representação esquemática dos fluxos de energia primária, secundária final e útil com indicação das perdas nos centros de transformação e no uso final

Em cada unidade produtiva, industrial ou agrícola, ou em outro setor de consumo, como o residencial, comercial ou público, a energia tem diferentes usos como força motriz, iluminação, aquecimento, etc.

Pode-se notar na Figura 6 que a energia final inclui a energia primária de uso direto. Num esquema mais completo devem-se considerar ainda outros tipos de perdas, exportações e importações nas diversas etapas, bem como ajustes metodológicos ou de dados.

COMPETE
QREN QUADRO DE REFERÊNCIA ESTRATÉGICO NACIONAL
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

Para converter a energia, chamada final na forma em que ela é usada, passa-se ainda por um processo que implica perdas, sendo necessário considerar uma eficiência de uso ou rendimento. No caso do uso motriz, parte da energia é transferida ao eixo do motor e parte é dissipada na forma de calor. Denomina-se rendimento a razão entre essa energia na forma que é usada, denominada energia útil, e a energia final ou seja:

[Energia Útil] = rendimento * [Energia Final]

De maneira geral, pode-se elaborar um Balanço de Energia Útil da seguinte forma:

[Energia Final] = [Energia Útil] + [Perdas no uso]

Num balanço de energia útil os usos são agrupados em: Força Motriz; Calor de Processo; Aquecimento Direto; Iluminação; Eletroquímica; Outros. Para elaborar um balanço de energia útil é necessário dispor, para cada atividade, da energia final utilizada por fonte energética. Para cada uma das fontes é necessária a distribuição pelos diferentes usos e o dos rendimentos em cada um desses usos. A soma dos valores em energia útil tem, pois, a vantagem de ter em conta os diferentes rendimentos, para um mesmo uso, dos diferentes energéticos.

A utilização da soma das parcelas representando os diferentes usos para compor a energia útil, apresenta, no entanto, o inconveniente de uma valorização que depende do tipo de uso. Por exemplo, um combustível como a lenha, é usado para gerar calor de processo em uma indústria com eficiência, aproximadamente de 75%. O óleo Diesel é usado, na mesma indústria para gerar força motriz com uma eficiência de 30%. Quando somados os dois combustíveis, na forma de energia útil, eles aparecem com um fator de mérito que não corresponde à sua potencialidade. Com efeito, o óleo diesel poderia ser usado com uma eficiência superior à lenha para calor de processo e, quando usado como força motriz, também apresentaria uma eficiência maior do que a que seria obtida através da lenha em uma máquina a vapor.

Para elaborar um indicador termodinâmico como por exemplo de uma indústria, utilizando-se da energia útil, exige-se muito tempo do pesquisador e livre acesso, dentro da indústria a ser analisada, para medir e estudar o processo produtivo (minuciosamente) e o rendimento de cada máquina, motor, forno e outros equipamentos que utilizam energia para o seu funcionamento. Tal procedimento ainda não traria garantia de que não haveriam falhas, na contabilização da energia útil do processo.

Indicadores físico-termodinâmicos

Estes indicadores têm a vantagem de, usando medidas físicas e termodinâmicas, poderem mensurar objetivamente qual o consumo requerido atualmente pelo uso final. Por ter a possibilidade de contabilizar o produto final em quantidades físicas, estes podem ser prontamente comparados e analisados em séries temporais.

Para medir a eficiência energética o indicador físico-termodinâmico não é tão direto quanto parece, por causa da designada ligação produtiva. A dificuldade está na localização e análise das diferentes entradas e saídas de energia na indústria, para cada linha de produto. Esse indicador é restrito para medir a eficiência energética geral do processo, tendo como base que ele permite comparar somente serviços que tenham o mesmo uso final (Patterson, 1996:381-386).

Indicadores económico-termodinâmicos

Estes indicadores são híbridos, uma vez que a energia que entra estará sendo mensurada em unidades termodinâmicas e na saída do sistema em valor monetário. Podem ser aplicados em diversos níveis de agregação das atividades económicas: setorial, industrial ou a nível nacional. São muito utilizados para comparação entre países.

O problema desta metodologia, para comparação entre países, está na composição do Produto Interno Bruto (PIB) ou Produto Nacional Bruto (PNB), que são calculados segundo a metodologia da ONU, adaptados teoricamente à realidade de cada país. Porém, setorialmente, encontra-se o mesmo problema metodológico, porque os dados são manipulados e podem não representar a realidade.

Indicadores económicos

Esses indicadores têm como característica principal a mensuração da energia de entrada e saída em valor monetário. A maior limitação deste indicador é a determinação do valor monetário da energia de entrada. A ideia é criar um “preço ideal” porém pode tornar-se instável com o tempo e precisar de ser recalculado. Outra ideia seria a de construir uma medida para o “custo da energia conservada”. Esta medida teria a vantagem de informar o

público, de quanto se teria sido poupado com a implantação de medidas de eficiência energética.

Esse método de “preço ideal” tem por princípio que a melhor tecnologia está disponível para todos e não tem em consideração as variáveis exógenas que podem influenciar na eficiência energética, como políticas económicas, sociais e energéticas de cada país, diferentes recursos naturais e diferenças climáticas. Os preços ideais provavelmente seriam determinados a partir dos parâmetros encontrados nos países em desenvolvimento, onde as melhores tecnologias e informações estão disponíveis e acessíveis ao consumidor. Essa hipótese parece atraente, porém não funciona nos países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos, porque estes não têm acesso às melhores tecnologias disponíveis ou estas não são adequadas à realidade social e económica desses países. Existe também alguma dúvida acerca de se um indicador puramente económico poderia não ser verdadeiramente um indicador de eficiência energética. Por exemplo, o indicador económico para uma indústria ou setor é determinado pelo produto dos preços dos produtos finais, pela quantidade total dos mesmos. Isso torna os valores finais encontrados através destes indicadores económicos/energéticos vagos, se utilizados isolados sem uma outra análise complementar, uma vez que os preços podem variar e a qualidade do produto também, não refletindo a eficiência energética.

Segundo Bosseboeuf et al (1997), para definir e caracterizar a eficiência energética de um país, podem-se também utilizar os macro-indicadores que reportam a economia como um todo (macroeconomia) ou os principais setores (industrial, agrícola, etc.) ou somente os principais uso finais. A macroeconomia tem como objeto de estudo as relações entre os grandes agregados estatísticos: a renda nacional, o nível de emprego e dos preços; o consumo, a poupança e o investimento total. Ao detectar as forças gerais que impelem os agregados em determinadas direções, a macroeconomia estabelece as chamadas forças de “ajuste” ou “equilíbrio”. Ao estabelecerem essas forças podem afetar o investimento, os juros, a procura, a oferta, as exportações e importações e no final toda a economia tem que se ajustar às regras impostas pela política macroeconómica vigente.

Nos últimos anos a política macroeconómica tem sido dominada pelo grupo dos monetaristas, que têm por princípio enfatizar o papel desempenhado pela procura de moeda e crédito, opondo-se frontalmente à intervenção do Estado. As regras determinadas pela política macroeconómica afetam as indústrias levando a uma oscilação na demanda total do produto e serviço, à substituição entre fatores de produção, variações nos preços e no câmbio que podem determinar um maior ou menor crescimento nas exportações e importações. As variações no aumento do preço, da energia ou de suas fontes, podem

incentivar a aquisição ou desenvolvimento de tecnologias, que consomem menos energia por produto final, ou levar a uma mudança na manutenção dos equipamentos já existentes e no controlo e modo de uso da energia. Por isso, Nagata (1997) declara que os principais impactos no consumo energético, podem ser divididos em mudanças na tecnologia, na operação e manutenção dos equipamentos e os de impactos macroeconómicos.

Existem também os micro-indicadores que podem ser definidos como microeconómicos. Estes englobam, nessa área de eficiência energética, os seguintes itens:

- Comportamento do consumidor em relação ao preço da energia e a utilização de aparelhos mais eficientes.
- Determinação dos custos marginais da energia, dos custos de capacidade e dos custos de expansão para uma estrutura desagregada (custo incremental unitário).
- As implicações das variáveis do modelo de equilíbrio geral, que determinam os preços sombras para o consumidor final. Como: preços eficientes, preços sociais e outras.
- Curvas de oferta e procura para a energia.

Os indicadores microeconómicos podem também utilizar-se das ferramentas de engenharia económica, para medir o custo efetivo de investimentos de eficiência energética, como: o retorno do investimento simples, o custo de energia economizada (CEE), a taxa interna de retorno (TIR) e o custo do ciclo de vida (CCV) ou o custo de vida anual (CCVA). Este método pode auxiliar o consumidor e as empresas a decidirem a tecnologia a ser adquirida e o melhor investimento.

Duas outras categorias de indicadores têm sido identificadas de acordo com os seus próprios propósitos para descrever a situação e a evolução da eficiência energética, sendo o primeiro indicador conhecido como descritivo; o segundo o explicativo ou explanatório. Tais indicadores explicam e analisam os fatores que permeiam a situação e evolução da eficiência energética e o papel desta na evolução do consumo de energia. Estes tomam como referência duas noções básicas de eficiência:

- Eficiência económica: maior produto, melhor padrão de vida com o mesmo ou menor montante de energia (e redução de emissões de CO_2);
- Eficiência tecnico-económica: redução na energia específica que se deve à melhoria técnica, mudanças no comportamento, melhor gestão, etc. Esses itens podem referir-se aos indicadores económicos e tecno-económicos.

Os indicadores descritivos são designados para descrever e interpretar alguns aspectos da eficiência energética que não são facilmente captados pelos indicadores tecnico-económicos e económicos quando fechados em si mesmos. Normalmente é necessária a combinação de vários indicadores descritivos, para interpretar a tendência na intensidade energética, relatando o consumo energético em valor monetário (PIB, valor adicionado) e unidade consumida ou consumo específico relatando o consumo energético para um valor físico (número de carros, produção de aço, cimento, empregos).

O indicador explicativo é utilizado primeiramente para explicar a razão para a variação na descrição dos indicadores, como por exemplo, o progresso ou deterioração da eficiência energética para um dado país ou de um setor industrial. Em particular, um dos objetivos perseguidos naquela circunstância é identificar o papel respectivo da mudança na tecnologia, das mudanças estruturais e comportamentais, etc. Em segundo lugar, esses indicadores poderão ser utilizados para explicar as diferenças entre países (por exemplo, parâmetros climáticos; tamanho de residências, etc.) [8].

1.6. OS INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

Segundo Phylipsen et al (1997), o consumo energético no setor industrial é determinado pelo nível de atividade, estrutura do setor e a eficiência energética. As mudanças no consumo de energia das indústrias não são exclusivamente relacionadas a melhorias em eficiência energética nos processos industriais, mas também relacionadas com vários outros fatores: políticos, económicos e ambientais. Tais fatores podem determinar que a indústria de um país pareça ser mais intensiva em energia do que em outro, ainda que a diferença possa ser essencialmente baseada sobre diferenças estruturais (Schipper, 1996; Eichhammer e Mannsbart, 1997).

O principal objetivo dos indicadores energéticos na indústria é o de proporcionar um entendimento maior da influência técnico-económica no total do consumo final de energia na indústria e individualmente dos subsetores ou filiais (Eichhammer e Mannsbart, 1997). Os resultados da análise dos indicadores de eficiência energética podem ser utilizados também para os seguintes fins:

- Direcionar as mudanças no consumo energético;

- Estabelecer políticas de eficiência energética;
- Estabelecer políticas ambientais;
- Orientar o preço da energia;
- Propiciar mudança no comércio dos bens energo-intensivos ou no produto final;
- Indicar os impactos estruturais para melhorar a eficiência energética;
- Servir de instrumento para mensurar o sucesso da política de negociação das reduções das emissões de CO_2.

Para realçar a aplicação prática da análise dos indicadores é importante descrever a ligação/vínculo (ou não ligação) entre a eficiência energética e as possíveis forças dirigentes, como as políticas de eficiência energética e a ambiental, pesquisa energética, desenvolvimento e mudanças nos preços da energia. Para uso prático desses indicadores é necessário simplificar a apresentação através da construção de agregados apropriados para a maior parte dos efeitos estruturais (Eichhammer e Mannsbart, 1997).

As mudanças estruturais, os efeitos do comércio internacional e as permanentes mudanças no consumo de energia, são principalmente determinados por melhorias na eficiência. Tais melhorias podem ser explicadas principalmente por várias mudanças tecnológicas, bem como influenciadas por outros fatores:

- Mudanças na eficiência técnica;
- Substituição de processos tecnológicos;
- Alterações no processo de fabrico utilizado, (por exemplo: processos de produção de cerâmica de via seca para via húmida, ou vice-versa) que reduzam o consumo de energia do processo.

No caso de substituição de matéria prima, por exemplo, se os produtos tiverem a mesma qualidade e a mesma aplicação para o velho e o novo processo, a substituição deve ser tratada como uma melhoria da eficiência energética ou mudança intra-industrial. O mesmo é válido quando os materiais são reciclados mas, os materiais reciclados, nem sempre têm a mesma qualidade e aplicação que aos produtos primários e, nem sempre podem ser usados completamente como substitutos (Eichhammer e Mannsbart, 1997:761).

Para Schipper e Grubb (2000), existem evidências da sensibilidade ao preço da energia no uso da eficiência energética das indústrias. Foi detectado nos anos noventa, um aumento na intensidade energética presumidamente induzida por preços baixos da energia. Porém,

um pequeno aumento na intensidade nos recentes anos poderia não ser surpreendente ou inesperado para os países estudados (países membros da Internacional Energy Agency). Notou-se o declínio na intensidade energética antes de 1973, quando o preço da energia estava em queda. Isso leva-nos a pensar que existe um componente externo ao preço da energia, que também é responsável por esse declínio relativo. Tal pesquisa aponta, a longo prazo, o progresso técnico como responsável pelo declínio da intensidade energética. Essa melhoria contínua na eficiência por si só, estimula o aumento da produção e por essa razão o uso de energia teve um crescimento. Isso aconteceu porque reduzindo os custos da energia, liberta o uso de mais energia para outros fatores da produção. O efeito que proporciona o crescimento do uso de energia é imediato porém, o desenvolvimento de novas tecnologias requer tempo. Outro fator é que a melhoria na eficiência energética pode estimular o crescimento económico, o qual volta a estimular maior uso de energia.

1.7. MEDIDAS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

Foram analisados documentos referentes às Best Available Tecnologies publicados anteriormente pela Comissão Europeia [9], [10], [11], [12], por países como a Espanha [13], a Holanda [14] e os Estados Unidos através do U.S. Department of Energy [15]. As publicações referidas anteriormente conduziram a dois conjuntos de medidas de eficiência energética classificados como Medidas Transversais e Medidas Específicas de cada setor da indústria [Figura 17]. As medidas transversais traduzem quatro grupos de actuação tecnológica: Motores Elétricos, Produção de Calor e Frio, Iluminação, Eficiência do Processo Industrial e Outras Medidas não especificadas. Em complemento a estas medidas foram selecionadas, dentro de cada um dos doze sectores mencionados, as referidas Medidas Específicas que traduzem possíveis actuações apenas aplicáveis com intensidade considerável em cada sector específico. Neste relatório apenas se refere à Alimentação, Bebidas e Tabaco.

Figura 17 – Grupos de Medidas Transversais e Medidas Específicas

Todas as Medidas (Transversais e Específicas) foram analisadas pelas:

- **Confederações Industriais Portuguesas**: Confederação da Indústria Portuguesa (CIP), Associação Industrial Portuguesa (AIP), e Associação Empresarial Portuguesa (AEP));

- **Associações Empresariais**: Associação Portuguesa das Empresas Químicas (APEQ), Associação Portuguesa de Fundição (APF), Associação Técnica da Indústria do Cimento (ATIC), Associação Têxtil e Vestuário de Portugal (ATP), Associação da Indústria Papeleira (CELPA), Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal (CITEVE), Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), Centro Tecnológico da Indústria do Couro (CTIC) e Federação das Indústrias Portuguesas Agro-alimentares (FIPA).

1.7.1. MEDIDAS TRANSVERSAIS

As medidas Transversais podem ser aplicadas à generalidade das indústrias Portuguesas. As medidas deste tipo, são aquelas que proporcionam maiores efeitos em termos do aumento da eficiência energética para o conjunto da economia portuguesa e, como tal, é

importante que os principais responsáveis pelo sector industrial possuam dados tecnológicos sucintos sobre a importância e o potencial impacto técnico-económico destas várias medidas [16].

1.7.1.1. SISTEMAS ACIONADOS POR MOTORES ELÉTRICOS

Motores Elétricos

Um Motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da energia elétrica baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos [17].

Os sistemas acionados por motores elétricos são responsáveis por cerca de 2/3 do consumo de energia elétrica do setor industrial da União Europeia. Em Portugal esse valor é superior, representa 77% do consumo de energia elétrica na indústria, que equivale a 11,7 TWh dos 15,3 TWh de consumo anual que este setor regista. A figura seguinte mostra a desagregação do consumo de energia elétrica pelas principais cargas da indústria Portuguesa e na figura 19 é possível visualizar-se a desagregação do consumo de energia elétrica dos motores [18].

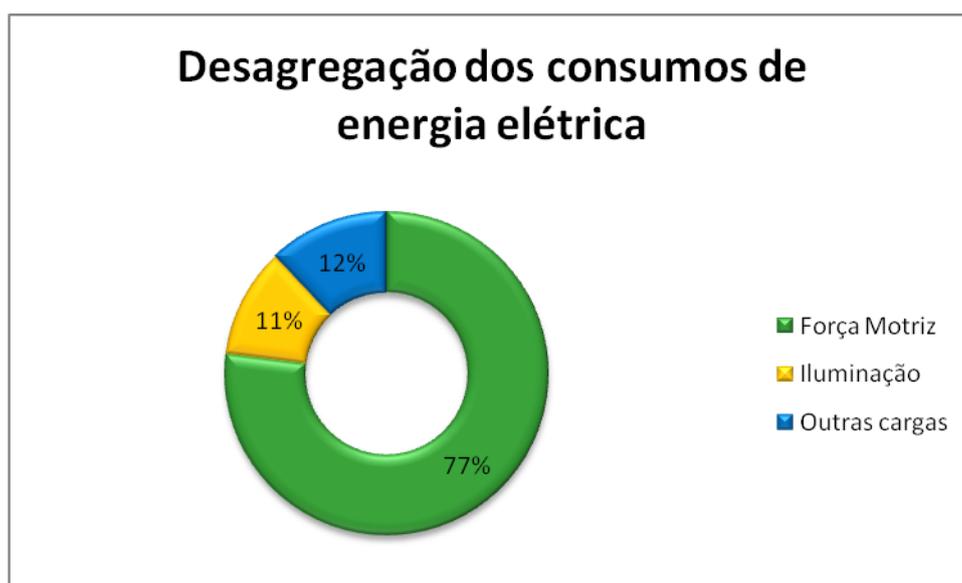



Figura 18 – Desagregação do consumo de energia na indústria Portuguesa

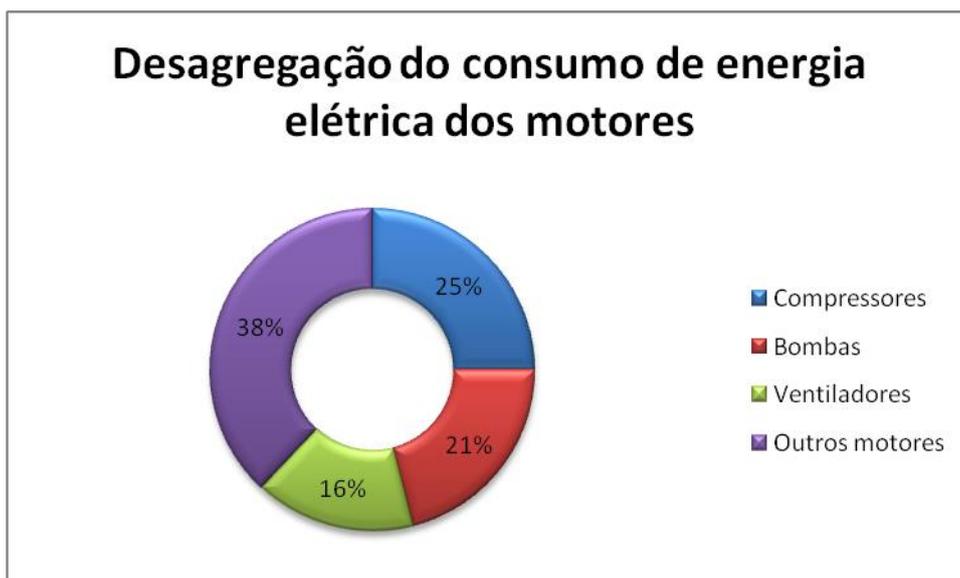



Figura 19 – Desagregação do consumo de energia elétrica dos motores

Motores Elétricos - Corrente Contínua (DC) / Corrente Alternada (AC)

Os motores elétricos podem ser alimentados por corrente contínua ou por corrente alternada. Dento dos alimentados por corrente alternada, estes podem ser síncronos ou assíncronos (ou de indução) [Figura 20].

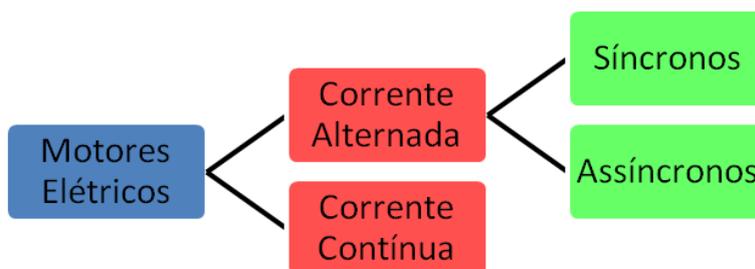



Figura 20 – Motores Elétricos

Um motor elétrico de **Corrente Contínua** move-se pela interação de campos magnéticos, tendo uma característica que o individualiza: deve ser alimentado com tensão contínua. Normalmente são constituídos por três partes básicas:

- **Estator**: Contém um enrolamento (chamado campo), que é alimentado diretamente por uma fonte de tensão contínua. No caso de pequenos motores, o estator pode ser um simples iman permanente;
- **Rotor:** contém um enrolamento (chamado armadura), que é alimentado por uma fonte de tensão contínua através do comutador e escovas de grafite;
- **Comutador:** dispositivo mecânico (tubo de cobre axialmente segmentado) no qual estão conectados os terminais das espiras da armadura, e cujo papel é inverter sistematicamente o sentido da corrente contínua que circula na armadura.

Este tipo de motores referidos anteriormente é regra geral bastante oneroso, o que conduz a que sejam utilizados especiais onde as exigências compensem o seu custo.
A figura 21 mostra a estrutura básica de um motor de corrente contínua.

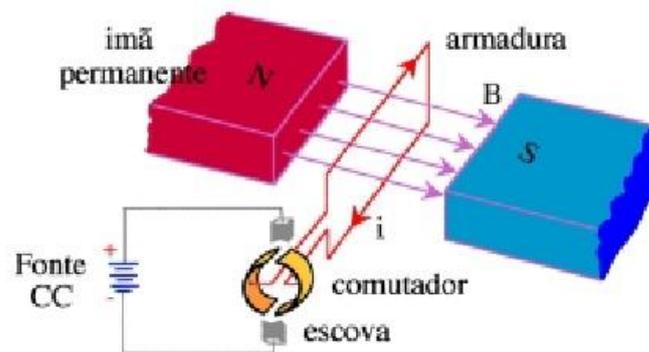



Figura 21 – Estrutura básica de um motor de corrente contínua [19]

Um motor de **Corrente Alternada** tem o seu princípio de funcionamento baseado num campo girante que surge quando um sistema trifásico de correntes alternadas é aplicado em pólos desfasados 120º.

Normalmente são constituídos por duas partes principais: O rotor e o estator.

Os motores de corrente alternada são os mais utilizados porque a distribuição de energia elétrica na rede é feita através de corrente alternada.

A figura 22 mostra a estrutura básica de um motor de corrente alternada.

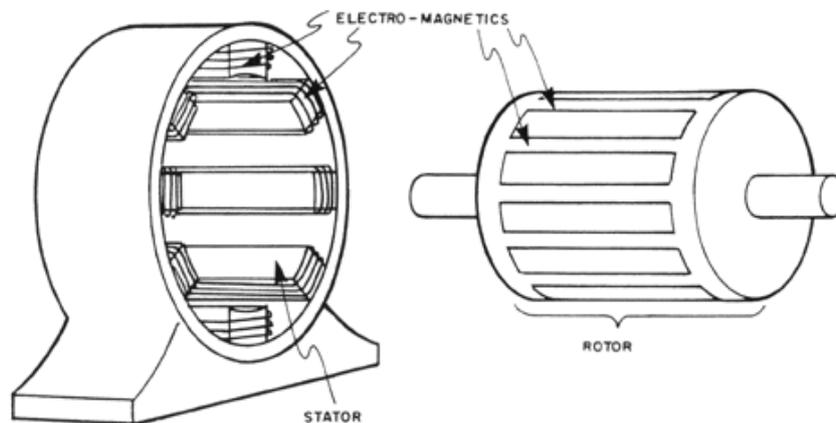



Figura 22 – Estrutura básica de um motor de corrente alternada. [20]

Os motores síncronos funcionam com velocidade fixa. Utilizam um circuito induzido que possui um campo constante pré-definido, e com isso, aumentam a resposta ao processo de arrasto criado pelo campo girante. São geralmente utilizados quando se necessita de velocidades estáveis, com cargas variáveis. Também podem ser utilizados para grandes potências, com um binário constante.

Os motores assíncronos ou de indução funcionam normalmente com velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo.

Otimização de Motores

É importante entender-se que existirão perdas inerentes ao processo de transformação, dessa forma vamos ter duas potências, a potência elétrica na alimentação do motor e a potência mecânica que é medida na ponta do eixo, também conhecida como potência ativa. As perdas inerentes ao processo de transformação são quantificadas através do rendimento (η).

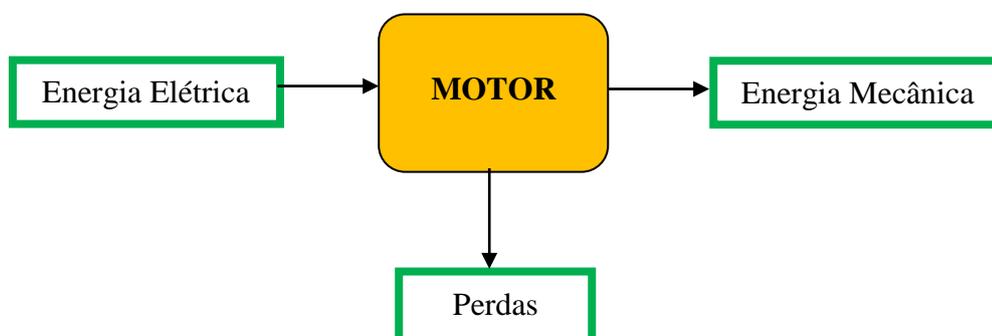



Figura 23 – Processo de transformação

O rendimento (η) de um motor pode ser calculado por:

$$\eta(\%) = \frac{P_{el} - P_T}{P_{el}} \times 100$$

Onde P_{el} representa a potência elétrica e as perdas totais (PT) são dadas por: PT = P_{fw} + P_{fe} + P_s + P_r + P_{LL}.

P_{fw} são as perdas por atrito e ventilação, causadas pela fricção e todas as perdas aerodinâmicas devido ao atrito nas partes móveis da máquina, incluindo a energia absorvida pelos ventiladores acoplados ao eixo.

P_{fe} são as perdas no ferro, e estão associadas à variação do fluxo magnético no tempo, produzindo correntes de Foucault e perdas por histerese associadas aos ciclos de magnetização do ferro.

P_s e P_r são as perdas óhmicas nos enrolamentos, que no caso de uma máquina de indução são as perdas nos enrolamentos do estator e do rotor.

P_{LL} são as perdas adicionas, causadas pela corrente de carga no ferro e noutras peças de metal à excepção dos enrolamentos condutores.

As medidas para a optimização da eficiência energética dos motores elétricos e sistemas de potência associados têm como objetivo a minimização das perdas energéticas inerentes. Neste âmbito, as medidas seguintes encontram-se entre as mais efectivas [16]:

- Substituir os motores elétricos convencionais avariados ou em fim de vida por motores mais eficientes;
- Avaliar o potencial de utilização de variadores electrónicos de velocidade para ajustar a velocidade do motor de acordo com a carga;
- Utilizar arrancadores suaves para evitar picos de corrente durante o arranque;
- Garantir a manutenção adequada dos motores;
- Evitar o sobredimensionamento dos motores e desligar os mesmos quando estes não estão a ser utilizados.

No que concerne à **Substituição dos Motores Elétricos Convencionais**, os motores de alta eficiência (MAE), apresentam um rendimento e um fator de potência mais elevados que os

motores convencionais. A melhoria de rendimento obtida para os motores de alta eficiência relativamente aos motores convencionais situa-se normalmente nos 3 – 4 %, podendo, no entanto, atingir um máximo de 8 %. Este desempenho é conseguido à custa quer da utilização de melhores materiais construtivos e melhores acabamentos, quer pela alteração das características dimensionais do motor (aumento da secção dos condutores no estator, aumento do comprimento do circuito magnético, *etc.*) [16].

Relativamente à utilização de **Variadores Elétricos de Velocidade (VEVs)**, o programa GERE, no âmbito do Plano de Promoção da Eficiência no Consumo promovido pela ERSE, comparticipa até 70% a aquisição de variadores eletrónicos de velocidade para empresas dos setores da Indústria e da Agricultura. Esta medida tem por objetivo a melhoria da eficiência energética das empresas. Estima-se que a execução desta medida conduzirá a uma diminuição do consumo anual de energia elétrica na ordem de 18,9 GWh, equivalente a uma redução de custos de 1.402.380 €/ano. Estes valores têm como cenário de referência a aplicação de 140 VEV em motores elétricos com potência média nominal de 90 kW, com regime de funcionamento anual de 6.000 horas; sobre este cenário, atribuiu-se a cada variador, uma capacidade de redução do consumo de energia elétrica na ordem dos 25%.

A utilização de variadores electrónicos de velocidade tem proporcionado substanciais economias de energia elétrica. Em muitas situações as poupanças podem equivaler a mais de 50% do consumo total de energia elétrica dos motores.

A sustentabilidade da poupança de energia gerada pela aplicação dos VEV é totalmente garantida e douradora, excepto nos casos em que os motores funcionem em regime bastante próximo do nominal e a uma carga praticamente constante de 50% do consumo total de energia elétrica dos motores [21].

Assim, as principais vantagens resultantes da aplicação dos VEVs a motores elétricos na indústria são:

- Economias de energia até 50 % ou mais, com um valor médio de 20 - 25 %;
- Redução dos picos de potência durante o arranque e a paragem do motor;
- Aumento da duração do motor;
- Aumento do fator de potência, correspondendo a uma diminuição da parcela da energia reactiva na factura energética;
- Possibilidade de *by-pass* em caso de falha;
- Amplas gamas de velocidade, binário e potência;

- Melhorias no controlo do processo, na qualidade do produto, e em última análise, na produtividade.

Diminuição da quantidade de partes mecânicas, dado o carácter compacto dos VEVs e estes incorporarem já diversos tipos de protecções para o motor (contra curto-circuitos, sobreintensidades, falta de fase, *etc.*) que deixam assim de ser adquiridas isoladamente [16].

Sistemas de Bombagem

A finalidade de um sistema de bombagem é o transporte de um fluido para o ponto de consumo, armazenamento ou evacuação, vencendo uma certa altura geométrica e as perdas por atrito geradas no circuito de tubagens (queda de pressão).

Um sistema de bombagem compreende dois componentes principais:

- **Circuito hidráulico**: por onde circula o fluido, caracterizado pelo comprimento, diâmetro e rugosidade da rede de tubos. Este circuito ultrapassa uma certa altura geométrica e, para além disso, para um dado caudal que flui através dele, está associada a uma determinada perda de carga, o que permite elaborar uma curva característica (altura-caudal) de funcionamento do circuito;
- **Circuito de bombagem:** bomba ou o grupo de bombas, que impulsionam um determinado caudal de fluido, conferindo-lhe a energia necessária para vencer a altura geométrica e a perda de carga determinada por esse caudal circuito. A bomba é constituída por um rotor de palhetas accionado por um motor, normalmente elétrico. Dependendo do circuito ao qual está ligada, a bomba é capaz de impulsionar um dado caudal até uma certa altura (altura geométrica mais altura equivalente por perdas de carga). Isto permite traçar uma curva característica (altura-caudal) do funcionamento da bomba.

A combinação de ambas as curvas determina o ponto de funcionamento do sistema.

O consumo de energia da bomba é a soma de três componentes:

- A energia necessária para a elevação do fluido (altura geométrica);
- As perdas do motor da bomba;
- A energia necessária para vencer as perdas de carga do circuito hidráulico.

Por conseguinte, o consumo de energia da bomba depende das características do mecanismo utilizado para elevar o fluido, da altura a vencer, do caudal e das perdas de carga do circuito.

Os sistemas de bombagem são muito importantes a nível industrial, representando aproximadamente 16 % do consumo energético da Indústria Portuguesa [21]. Na indústria química estes sistemas usam 37 a 76 % de toda a energia gasta em motores eléctricos [22].

Os sistemas de bombagem têm especial relevância na indústria dado o seu elevado número. Aumentar a sua eficiência energética significa otimizar os sistemas que envolvam as maiores perdas. Segundo a Intenacional Energy Agency, devem ser seguidos os seguintes passos:

- Avaliar todos os sistemas de bombagem e identificar aqueles que necessitam de ser rapidamente melhorados;
- Analisar detalhadamente os sistemas identificados;
- Desligar bombas desnecessárias ou usar interruptores de pressão de modo a controlar o número de bombas em funcionamento;
- Repor as folgas internas da bomba;
- Substituir ou modificar as bombas sobredimensionadas;
- Instalar VEVs ou usar arranjos com múltiplas bombas (p. ex., várias bombas em paralelo) para garantir uma variação do caudal sem recorrer ao uso de um dispositivo de estrangulamento (válvula reguladora de caudal);
- Substituir os motores elétricos convencionais por motores de alta eficiência;
- Reparar fugas e válvulas deficientes (ou substituir estas por válvulas mais eficientes) e eventualmente conservar ou modificar os impulsores das bombas;
- Estabelecer um programa de manutenção periódico.

Sistemas de Ventilação

Sistemas de ventilação têm funções variadas: Promover a circulação de ar condicionado, para manter o conforto humano em ambientes, remover ar contaminado de ambientes, promover a filtragem de ar de ambientes críticos, etc. Um sistema de ventilação é constituído por ventiladores, por condutas às quais os ventiladores estão ligados, e inúmeros elementos auxiliares que têm função específica. As condutas, de forma similar à tubagem de um sistema de bombagem, têm a função de conduzir, confinadamente, os gases de trabalho (muitas vezes o ar) entre as extremidades do sistema de ventilação. Um

sistema de ventilação bem projetado é aquele que, minimizando os custos de investimento e operação, distribui o gás de acordo com as especificações, para/de vários ambientes ao qual está ligado, opera com perda de carga reduzida e não gera ruído intenso e prejudicial à saúde dos indivíduos que habitam sua área de atuação [23].

Sistemas de Compressão de Ar

O ar comprimido é aquele que está a uma pressão acima da pressão atmosférica. A utilização de ar comprimido é muito comum em ambientes industriais, e representa cerca de 10% do consumo de energia na indústria. Contudo, alguma desta energia é perdida devida à manutenção inexistente/deficiente, às fugas de ar, à má utilização do ar comprimido, etc.

A optimização energética dos sistemas de ar comprimido deverá passar por intervenções nas seguintes áreas principais [16]:

- Produção e tratamento do ar comprimido;
- Redes de distribuição de ar comprimido;
- Dispositivos de utilização final;
- Projecto e operação do sistema global.

Obviamente cada instalação é um caso diferente, no entanto, destacam-se algumas medidas importantes que se consideram comuns [16]:

- Redução de fugas de ar comprimido;
- Melhor concepção do sistema;
- Utilização de variadores electrónicos de velocidade (VEVs);
- Recuperação de calor;
- Fracionamento de potência dos compressores.

1.7.1.2. Sistemas de produção de frio e de calor

Os custos de produção de energia térmica, seja para aquecimento, ar condicionado, ventilação, refrigeração, para processos de fabrico, etc., representam uma proporção significativa do dinheiro gasto pelas empresas em energia.

Frio Industrial

O frio industrial ocupa-se da investigação e aplicações de baixas temperaturas com finalidades industriais, para conservação de materiais/alimentos suscetíveis de se alterarem por efeito do calor.

O frio industrial pode ser dividido em 3 ramos perfeitamente diferenciados entre si:

A **refrigeração** que se ocupa de temperaturas iguais ou pouco inferiores a 0 ºC, a **congelação** que consiste num processo para a obtenção de temperaturas inferiores a 0 ºC, e a **criogenia** em que se conseguem temperaturas extremamente baixas.

A maioria dos sistemas de refrigeração industrial são sistemas de refrigeração por compressão de vapor. Em alguns casos também se utilizam sistemas de absorção.

De forma a aumentar a eficiência energética dos sistemas de refrigeração, é possível recorrer-se à utilização de novos fluidos frigorigéneos, alternativos aos clorofluorcarbonetos (CFCs) e aos hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs). A termoacumulação também poderá ser uma boa alternativa, uma vez que esta tecnologia permite a produção de gelo nos períodos em que a eletricidade é mas barata (horas de vazio), e o armazenamento do gelo em bancos até ser necessário para a refrigeração. Uma outra medida prende-se com a utilização de motores a gasolina que transmitam energia mecânica ao compressor dos sistemas de refrigeração, em vez de um motor elétrico.

É muito comum que o frio industrial seja “armazenado” em câmaras frigoríficas industriais. Estas câmaras são recintos refrigerados por ciclos de compressão de vapor ou absorção, cuja temperatura de mantém devido ao revestimento com um material isolante.

A espessura do isolamento depende de fatores tais como a diferença de temperaturas exterior e interior, ou o fluxo de calor máximo admissível.

As câmaras frigoríficas têm uma aplicação importante em várias indústrias, salientando a indústria Agroalimentar, em particular nas fileiras da carne, laticínios, peixe e incluindo a indústria farmacêutica uma vez que muitos dos compostos utilizados neste sector necessitam de ser mantidos e armazenados em condições rigorosas de temperatura baixa e estável.

Os elementos básicos constituintes de uma câmara frigorífica são:

Compressor – cuja função é aumentar a pressão do fluido frigorigéneo em estado de vapor e impulsioná-lo desde o evaporador até condensador.
Condensador – que extrai calor do fluido frigorigéneo em estado de vapor até líquido saturado. Este calor é transferido para um outro fluido que pode ser ar ou água.
Evaporador – de onde o fluido frigorigéneo extrai calor da câmara frigorífica, absorvendo calor sensível e calor latente de vaporização, até chegar ao estado de vapor sobreaquecido.
Dispositivos e válvulas de expansão – têm como função a redução da pressão no fluido frigorigéneo saturado, causando um subarrefecimento, e a regulação do caudal desse fluido.

Câmara de refrigeração propriamente dita – constituída por 3 elementos básicos, que são o isolamento, a barreira de vapor, e o revestimento.

Estes elementos básicos serão analisados com maior rigor nos sistemas de refrigeração tratados mais à frente.
Existem algumas recomendações para melhorar a eficiência energética nas câmaras de refrigeração, nomeadamente:

- Em fase de projeto, a casa de máquinas deve situar-se o mais próximo possível da zona de produção de frio de modo a evitar perdas. Se existirem várias câmaras, estas devem ser instaladas em bloco, de modo a se obterem o máximo de paredes comuns e poupar quer em termos de isolamento, quer em gastos de funcionamento, assim como em perdas de calor. Devem otimizar-se a orientação das câmaras tendo em relação os pontos cardeais.

- No que diz respeito à conceção e à implementação do isolamento das câmaras, os materiais utilizados devem ter um coeficiente de transferência de calor (K) o mais pequeno possível, tal como poliuretano ou poliestireno. Devem utilizar-se espessuras de isolamentos que permitam uma transferência de calor entre 7 W/m^2 - 9 W/m^2, uma vez que espessuras maiores melhoram o isolamentos mas traduzem num investimento inicial mais elevado.

- No que diz respeito à seleção e projeto do sistema de refrigeração, é necessário considerar o tamanho ideal das unidades de compressores e operar sempre utilizando a plena capacidade da máquina que se encontra em funcionamento a

cada momento, uma vez que não trabalhar em plena carga pressupõem um menor coeficiente de rendimento (COP).

- Prestar atenção à manutenção da instalação de modo a assegurar que a eficiência energética permaneça constante. É necessário uma limpeza periódica de filtros, mudança do óleo dos compressores, purga de ar, limpeza de condensadores, e um sistema de controlo de descongelação [24].

Recuperação de Calor

A recuperação de calor perdido é um processo que utiliza tecnologias variadas para a recuperação e reutilização de calor rejeitado pelo processo. Esta energia térmica pode ser recuperada a partir de várias fontes [16]:

- Gases de combustão;
- Efluentes quentes ou frios;
- Ar de exaustão;
- Produtos quentes ou frios, ou restos de produção;
- Água de arrefecimento e óleo hidráulico;
- Fontes termais naturais;
- Painéis solares;
- Calor de sobreaquecimento e calor de condensação rejeitado dos processos de refrigeração;
- Outras fontes.

As tecnologias mais comuns para a recuperação deste calor são:

- Permutadores de calor para fazer uso direto do calor no mesmo estado em que se encontra;
- Bombas de calor e recompressão de vapor, que transformam o calor de modo a gerar trabalho mais útil do que se este se encontrasse à sua temperatura inicial;
- Operações multi-estágio, tais como evaporadores multi-efeito, expansão de vapor e combinações das técnicas acima mencionadas.

Sistemas de Geração e Distribuição de Vapor

As principais medidas para aumentar a eficiência energética nos sistemas de geração e distribuição de vapor são [9]:

- **Medidas para aumentar a eficiência na geração e distribuição de vapor**:

  - Utilização de permutadores de calor (economizadores) para pré-aquecer a água de alimentação à caldeira;
  - Remoção de depósitos de calcário e/ou de fuligens das superfícies de transferência de calor;
  - Minimização de purgas da caldeira;
  - Recuperação de calor das purgas;
  - Recolha e reutilização dos condensados na caldeira;
  - Reutilização do vapor de flash (por ex., vapor gerado por expansão de condensados);
  - Programa de controlo e manutenção dos purgadores;
  - Isolamento das tubagens, válvulas e flanges;
  - Eliminação de fugas de vapor e de condensados;
  - Melhoramentos no lay-out da rede de distribuição.

- **Medidas para aumentar a eficiência da combustão:**

  - Ajuste das condições de combustão;
  - Instalação de um pré-aquecedor de ar de combustão através dos gases de combustão;
  - Instalação de um controlador do teor de oxigénio nos gases de combustão (ajuste em tempo real do excesso de ar).

- **Medidas de controlo e manutenção**:

  - Manutenção da caldeira;
  - Actualização do sistema de controlo de funcionamento da caldeira;
  - Minimização das perdas em ciclos curtos de funcionamento;

- Instalação de controladores automáticos do total de sólidos dissolvidos na água do interior da caldeira;
- Substituição de caldeiras em fim de vida.

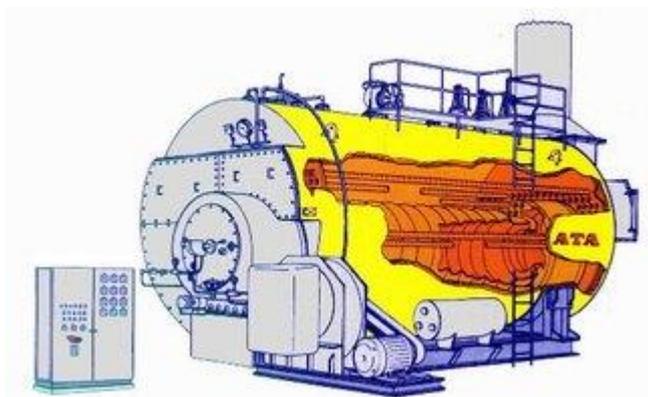
Caldeira, Fornos e Secadores

As caldeiras, os fornos e os secadores são dos principais responsáveis pelos consumos de energia da indústria. Como tal, é de todo o interesse conhecer o seu funcionamento, os seus critérios básicos de projeto e as principais medidas de eficiência energética.

Uma **caldeira** é um permutador de calor em que a energia é fornecida geralmente por um processo de combustão, ou também por ação do calor contido num gás que flui através do mesmo. As caldeiras podem ser classificadas conforme qualquer das seguintes características: finalidade, fonte de aquecimento, conteúdo nos tubos, princípio de funcionamento, pressão de serviço, tipo de fornalha etc.

As caldeiras que produzem vapor pela queima de combustíveis podem ser classificadas em dois grandes grupos, de acordo com o conteúdo nos tubos: em flamotubulares e aquatubulares.

As caldeiras flamotubulares geram normalmente de 100 à 30.000 kg/h com pressão até 30 Kgf/cm^2. Nas caldeiras flamotubulares os gases quentes provenientes da queima do combustível passam por tubos imersos em água. Os tubos aquecem a água, formando vapor. Esse tipo de caldeira tem a construção mais simplificada, quanto a distribuição de tubos, podendo ser classificadas em verticais e horizontais.

Figura 24 – Caldeira flamotubular horizontal / vertical [33]

Vantagens:

- Construção fácil, com relativamente poucos custos;
- São bastante robustas;
- Não exigem tratamento de água muito cuidadoso;
- Exigem pouca alvenaria;
- Utilizam qualquer tipo de combustível, líquido, gasoso ou sólido.

Desvantagens:

- Pressão limitada em torno de 15 atm, devido à espessura da chapa dos corpos cilíndricos;
- Partida lenta, em função de se aquecer todo o volume de água;
- Baixa capacidade e baixa taxa de produção de vapor por unidade de área de troca de calor;
- Circulação de água deficiente;
- Dificuldades para instalação de superaquecedores, economizadores e preaquecedores de ar.

As caldeiras aquatubulares têm a produção de vapor dentro de tubos. Nesse tipo de caldeira os tubos que, nas caldeiras flamotubulares, conduziam gases aquecidos, passaram a conduzir a água, o que aumentou em muito a superfície de aquecimento, aumentando bastante a capacidade de produção de vapor. Podem ser divididas em: caldeiras aquatubulares de tubos retos e caldeiras aquatubulares de tubos curvos.

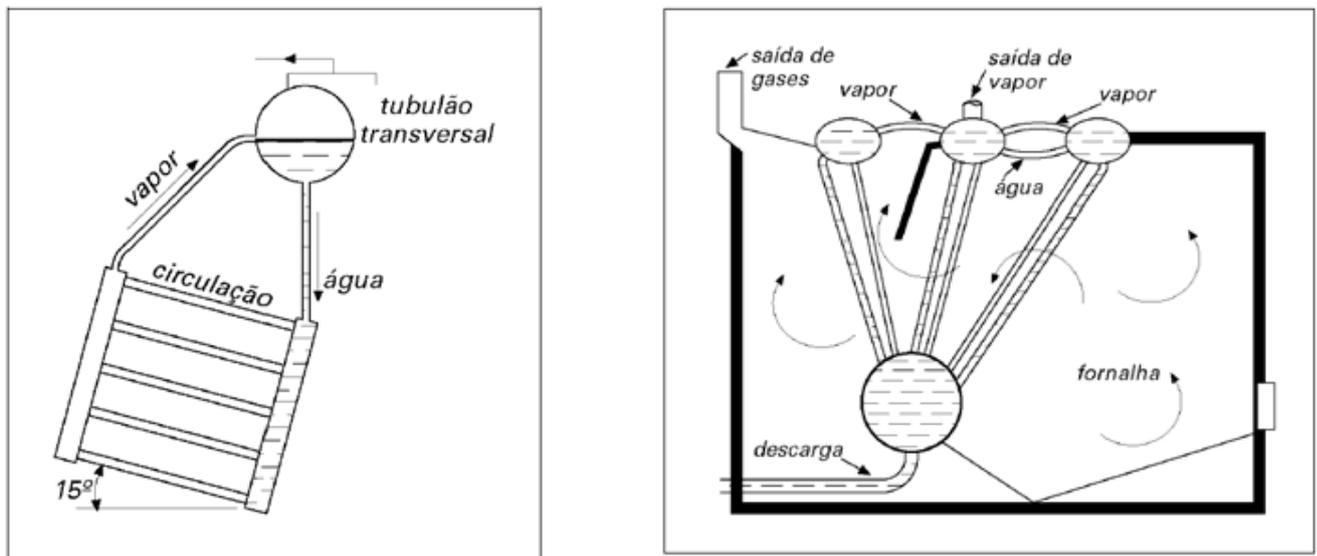



Figura 25 – Esquema de caldeira aquatubular de tubos retos / curvos [34]

Vantagens:

- Maior taxa de produção de vapor por unidade de área de troca de calor;
- Possibilidade de utilização de temperaturas superiores a 450°C e pressões acima de 60 atm;
- Partida rápida por causa do volume reduzido de água nos tubos;
- A limpeza dos tubos é mais simples que na flamotubular e pode ser feita automaticamente;
- A vida útil destas caldeiras pode chegar a 30 anos.

Desvantagens:

- Uma caldeira aquatubular pode custar até 50% mais que uma caldeira flamotubular de capacidade equivalente;
- Construção mais complexa;
- Exigem tratamento de água muito cuidadoso.

As caldeiras aquatubulares são usadas nos modernos projetos industriais, pois podem produzir grandes quantidades de vapor a elevadas temperaturas. A produção de vapor neste tipo de caldeira atinge até 750 ton/h.

Mencionam-se de seguida algumas recomendações práticas para otimizar a operação de caldeiras geradoras de energia em ambiente industrial:

a) **Redução das perdas de calor:**

- Verificar possíveis defeitos de isolamento térmico;
- Verificar fugas em válvulas, prensas, etc;
- Evitar perdas de calor em stand-by;
- Constatar o bom funcionamento do sistema de recuperação de condensados;
- Investigar o potencial de recuperação de calor.

b) **Melhoria de rendimento e do correto funcionamento comprovando especialmente os seguintes parâmetros:**

- Fuligem: Ocorre na combustão incompleta. Ajustar os queimadores e efetuar uma limpeza;
- Estanquicidade: Podem produzir-se entradas de ar desnecessárias, ou fugas de gases (atenção ao CO). Detectar e corrigir;
- Ventilação: entrada de ar insuficiente pode reduzir o teor de oxigénio no ar de combustão, e diminuir a eficiência da combustão. Mantenha os orifícios, as grelhas, etc. livres e limpos;
- Chaminés: remover a fuligem periodicamente, geralmente aquela que se deposita na sua base, que pode obstruir parcialmente a abertura influenciando negativamente a combustão. Além disso, a fuligem contém vestígios de enxofre que em contacto com a água da chuva pode produzir ácido sulfúrico, que corrói as paredes de metal;
- A condensação dos gases de combustão: Evitar que as temperaturas de entrada dos fluidos para os recuperadores de calor desçam demasiado para evitar a condensação e a formação de ácido sulfúrico;
- Incrustações nas superfícies de troca de calor: Verificar a qualidade da água de alimentação e especialmente a água da caldeira. Incrustações sobre estas superfícies impedem a transmissão de calor através delas, diminuindo significativamente o rendimento. Pode mesmo formar-se uma camada tão espessa que impeça o arrefecimento dos tubos.

c) **Correto funcionamento dos queimadores, com especial atenção para os seguintes aspectos:**

- Verificar que a pulverização é bem sucedida com combustíveis líquidos. Comprovar e limpar regularmente os pulverizadores;

- Siga meticulosamente as instruções do fabricante ao posicionar os elementos corretamente, mantendo a distância prescrita. Se assim não for, é possível que ocorram ignições defeituosas, combustões incompletas, e por consequência, diminuição do rendimento;
- Proceder à manutenção da caldeira e dos queimadores;
- Controlar as condições de combustão através da análise dos gases de combustão (regulação do excesso de ar).

d) Regulação e controlo de sistemas comprovando o seu bom funcionamento, especialmente no que concerne a:

- Caudais, temperaturas e pressões dos combustíveis;
- Caudais, temperaturas e pressões da água de alimentação;
- Caudais, temperaturas e pressões do vapor ou da água sobreaquecida gerada pela caldeira;
- Valores de referência e parâmetros de desempenho dos diversos sistemas;
- Verificação do cumprimento da função a que se destinam as proteções e elementos de segurança mecânica e elétrica;
- Analisar e verificar o funcionamento de quadros elétricos.

e) Melhorar o armazenamento, a preparação e a distribuição de fuelóleo e de combustíveis sólidos;
f) Adequar a produção da caldeira às necessidades do processo;
g) Tratar as águas e efectuar purgas adequadas;
h) Avaliar a possibilidade de substituir a caldeira ou o combustível.

Os **Fornos industriais** normalmente utilizam gás como fonte de energia.

Um forno industrial a gás é o mecanismo que converte a energia química de um combustível em calor, que posteriormente será usado para aumentar a temperatura dos elementos depositados no mesmo e deste modo levá-los à condição necessária para posteriores processos industriais.

Um forno é essencialmente constituído por uma câmara de combustão onde estão alojados os queimadores e se geram os gases de combustão, uma câmara de aquecimento, um revestimento isolante que abrange equipamentos e câmaras, chaminé e tubos de escape de gases da combustão (normalmente acoplados a sistemas de trocas de calor para aproveitamento de energia calorífica, antes se serem libertados para a atmosfera).

Os fornos a gás podem ser classificados quanto à sua função: Fornos de Fusão, que têm como objetivo fundir materiais, Fornos de Reaquecimento, que têm como função aquecer os materiais por exemplo para processos de laminagem, extrusão, forjamento e estampagem, e Fornos de Tratamento Térmico, em que a sua finalidade é de inferir uma propriedade ao material. Exemplo de tratamentos: recozimento, cementação, revenido, tempra, estanhagem, galvanização.

Seguem-se algumas recomendações práticas para otimizar a operação de fornos em ambiente industrial [24]:

a) **Conceção e utilização do Forno:**

- A seleção do tipo forno (capacidade, tipo de aquecimento, modo de operar, etc.) deve ser sempre efetuada com base num estudo técnico-económico, otimizando o projeto consoante o objetivo. A utilização do forno deve ser exclusivamente para realizar operações para as quais foi projetado;
- Sempre que possível deve passar-se de trabalho descontínuo para contínuo. Em processos descontínuos é conveniente utilizarem-se fornos de baixa inércia térmica, de modo a serem atingidas com maior brevidade as temperaturas de funcionamento, e reduzir as perdas térmicas;
- Uma boa estanquicidade do forno impede entradas de ar não controladas;
- O uso de materiais altamente refractários permite temperaturas mais altas melhorando assim a eficiência.

b) **Processo:**

- Sempre que possível, deve trabalhar-se em plena capacidade da instalação;
- O controlo do processo deve ser o mais automatizado possível;
- Aproveitar-se sempre que possível a energia liberada em processos exotérmicos;
- Nunca operar em temperaturas mais altas do que o necessário;
- Utilizar oxigénio puro como comburente para minimizar o volume dos gases de combustão.

c) **Alimentação:**

- Evitar humidade excessiva no produto a tratar procedendo à sua secagem antes do o introduzir no forno;
- Verificar o armazenamento de matérias primas, evitando que estejam expostas à humidade ou às intempéries;

- Melhorar o processo químico e as trocas de calor com a utilização de matéria primas com adequado tamanho de partículas;
- Controlar a qualidade e a dosagem das matérias-primas;
- Programar as cargas.

d) **Combustão:**

- Controlar a combustão através da análise dos gases de combustão (regulação do excesso de ar);
- Utilizar combustíveis pré-aquecidos;
- Verificar os sistemas de controlo de combustão;
- Trabalho numa temperatura tão próxima da temperatura de funcionamento teórica quanto possível.

e) **Manutenção e perdas:**

- Elaborar um plano de manutenção preventiva para evitar paragens não planeadas;
- Calcular a utilização óptima do isolamento para evitar temperaturas da parede excessivas;
- Reduzir o tempo das paragens, evitando perder o calor armazenado nos fornos;
- Efectuar uma manutenção adequada dos isolamentos e reparar as fugas;
- Inspeccionar e proceder à manutenção dos fornos e dos queimadores.

Denominam-se de **Secadores** os equipamentos que eliminam ou reduzem o teor de líquido de um produto, utilizando a energia calorífica.

A secagem de um produto consiste em remover a totalidade ou parte dos líquidos que o impregnam. Geralmente está relacionada com a água, mas é extensível a outros líquidos tais como álcool ou éter.

A humidade num produto pode estar simplesmente aderida (superficial), preencher as reentrâncias (capilar), ou impregnar toda a massa (constitucional).

Mencionam-se de seguida algumas recomendações práticas para otimizar a operação dos Secadores em ambiente industrial:

a) **Recuperadores diretos:**

Nestes casos, a eficiência térmica pode ser aumentada através de reaquecimento do ar e recirculá-lo através do secador, com consequentes poupanças de energia que isto implica.

b) **Recuperadores indiretos:**

Pressupõem uma poupança energética com o aumento da eficiência térmica do equipamento, da mesma forma que os recuperadores diretos.

c) **Controlo do grau de secagem:**

Deve considerar-se a curva de secagem do produto, para assegurar o futuro equilíbrio entre a humidade do produto seco e a humidade do ambiente onde este será depositado. Desta forma, a humidade do ar de secagem deve ser controlada

d) **Isolamento de secadores:**

O isolamento é necessário para minimizar as perdas quer seja através das paredes ou dos tetos. Deve ser efetuada manutenção dos isolamentos em bom estado, evitando fugas de ar quente e / ou entra de ara parasita.

e) **Estudar a recuperação de calor residual;**
f) **Recorrer ao uso de pré secagem mecânica antes da secagem térmica.**

Mais à frente, nos sistemas de refrigeração, procedeu-se a uma análise mais pormenorizada dos Secadores.

1.7.1.3. Iluminação

A energia elétrica consumida nas instalações de iluminação nos diferentes sectores de actividade (indústria, serviços e doméstico) representa aproximadamente 25 % do consumo global do país, e cerca de 5 % a 7 % do consumo global de energia elétrica de uma instalação industrial [21]. A utilização de equipamentos mais eficazes traduzir-se-á em reduções significativas de consumos energéticos.

Redução dos consumos de energia e dos custos de manutenção, são consequências da instalação de equipamentos que proporcionem níveis e iluminação necessários e recomendados ao desempenho das atividades.

Existem parâmetros essênciais para a redução de consumos energéticos, mantendo ou até mesmo melhorando as condições de iluminação:

- Preferir a iluminação natural

No referido, normalmente o investimento inicial é retornado em tempo aceitável através da poupança de energia proporcionada.

Lâmpadas

As lâmpadas são o emissor luminoso da instalação, pelo que a sua seleção constitui uma dificuldade na fase de projeto da mesma, fundamentalmente devido à potência consumida, ao tempo de vida e à cor da luz.

Os fatores mais importantes que devem ser considerados na definição e seleção do tipo de lâmpada a utilizar são a eficácia luminosa, a temperatura de cor e a vida útil.

Os vários tipos de lâmpadas podem apresentar eficiências luminosas diversas. O seu valor expressa-se em lúmens por watt (lm/W) e representa a relação entre a quantidade de luz emitida e a quantidade de energia elétrica absorvida.

A figura seguinte mostra os vários tipos de lâmpadas existentes e algumas características básicas.

Tipo de lâmpada		Potência (W)	Eficácia Energética (lm/W)	Duração média (h)
Incandescente	Standard	3 – 1 500	6 - 24	750 – 2 000
	Halogéneo	10 – 1 500	8 - 35	2 000 – 4 000
Fluorescente	Tubular	4 - 225	26 - 105	7 500 – 24 000
	Compacta	5 – 58	28 - 84	10 000 – 20 000
Descarga em alta pressão	Iodetos metálicos	32 – 2 000	50 - 110	6 000 – 20 000
	Vapor sódio a alta pressão	35 – 1 000	50 - 120	16 000 – 24 000

Figura 26 – Tipos de lâmpadas e respetivas características de desempenho

As lâmpadas fluorescentes têm elevado rendimento luminoso, longa vida útil e baixo consumo. Duram 8 a 10 vezes mais do que as lâmpadas incandescentes e economizam cerca de 85 % de energia.

As lâmpadas mais indicadas para ambientes industriais são as de descarga, nomeadamente lâmpadas de vapor de sódio, embora seja comum a utilização de lâmpadas fluorescentes.

A manutenção da instalação é um dos fatores importantes em termos de eficiência energética. Só a acumulação de pó nos sistemas reflete-se numa perda de 10 % da iluminação.

Luminárias

Designa-se luminária a unidade destinada a albergar uma ou várias lâmpadas, e utilizam-se para focalizar a luz e evitar que esta de desperdice.

Os sistemas mais eficientes serão aqueles que incluem a utilização de lâmpadas de elevada eficiência energética, e luminárias equipadas com reflectores espelhados, que permitem elevar o rendimento total do sistema.

A disposição das luminárias deve evitar os encandeamentos nos planos de trabalho, enquanto que o seccionamento deve permitir desligar uma secção sempre que a iluminação natural seja suficiente, permitindo uma redução do consumo de energia elétrica.

A limpeza das luminárias é também um fator de grande importância em termos de eficiência energética.

Sistemas de controlo da iluminação

Compõem os elementos responsáveis pela gestão energética dos elementos de iluminação.

A utilização destes sistemas de controlo permite um funcionamento otimizado dos vários setores de iluminação, adaptando-o de acordo com as necessidades.

Em ambiente industrial, a iluminação deve estar dividida em setores independentes, e o seu funcionamento deve refletir a sequência operacional do processo.

Existem algumas medidas que traduzem uma redução do consumo energético:

- Aproveitar a entrada de luz natural, utilizando protecções solares móveis;
- Utilização de sistemas de controlo da iluminação;
- Instalação de sensores de presença;
- Utilização de relógios temporizadores.

1.7.1.4. Eficiência do processo industrial

Monitorização e controlo

Planear, monitorizar e implementar estratégias de controlo otimizadas são algumas das medidas que permitem gerir a energia consumida. Normalmente, o retorno do investimento nestas medidas é praticamente imediato assim como a verificação da redução dos gastos.

Os sistemas mais atuais de monitorização e controlo dos processos industriais não têm apenas como objetivo a eficiência energética, mas também a otimização da produção, a melhoria da qualidade do produto e a segurança de operadores e máquinas.

A unidade industrial deverá iniciar a tarefa de monitorizar e controlar o processo através de um diagnóstico energético de forma a identificar os locais suscetíveis de controlo dos consumos de energia (Centros de Custos). Nestes Centros de Custos são implementados aparelhos de medida, que passam a indicar os consumos de energia com regularidade. Após avaliação dos valores de produção de cada Centro de Custos, podem ser calculados os consumos específicos.

Através da análise dos dados obtidos é possível estabelecer valores padrão, e de seguida estabelecerem-se metas realistas de redução de consumo e melhoria da eficiência energética.

A monitorização e o controlo dos consumos de energia e da produção devem ser efetuados de forma contínua, sendo os valores padrão e as metas atualizados sempre que se justifique.

Tratamento de efluentes

Tratamentos anaeróbios de águas residuais – Os agentes biológicos são utilizados para remover os contaminantes da água, na ausência de oxigénio. Esses agentes biológicos incluem microrganismos que apresentam degradação material biodegradável no lodo, depois de este ser filtrado das águas poluídas. O processo também é conhecido como digestão anaeróbia, pelo facto de os microrganismos "digerirem" os poluentes na água. O processo anaeróbio ocorre em grandes tanques vedados e hermeticamente fechados. Na fase inicial, a repartição dos microrganismos no lodo converte os detritos em ácidos orgânicos, dióxido de carbono, hidrogénio e amoníaco, enquanto que nos estágios posteriores, o lodo que permanece é convertido em biogás. Este biogás é composto por metano e dióxido de carbono. As baixas emissões de gases fazem o tratamento anaeróbio de águas residuais ser o processo mais utilizado hoje em dia nas estações de tratamento de esgoto. Esta tecnologia simples tem alta eficiência e pode reduzir a produção de lodo excedente em cerca de 90%.

Este tratamento permite não só reduzir o consumo de energia elétrica, como também permite a utilização para queima do biogás produzido.

Tratamentos de águas residuais com tecnologia de membranas – As membranas atuam como uma barreira para bactérias e sólidos suspensos de forma a produzir um efluente livre de bactérias e ausência de turbidez.

Este método apresenta um consumo menor quando comparado com a evaporação. São conseguidas poupanças adicionais ao nível dos custos operacionais, do consumo de água e da qualidade dos produtos.

Manutenção de equipamentos

A manutenção de equipamentos e instalações é fundamental para garantir a eficiência do desempenho das instalações técnicas (industrias ou outras) aumentado o tempo médio entre avarias e prolongando a vida útil dos equipamentos.

Associada a esta preocupação esta a eficiência energética, que beneficia de forma direta e indireta, da qualidade da manutenção implementada e executada nas instalações e equipamentos industriais.

Neste contexto, a existência de um sistema organizado para a gestão da manutenção contribuirá para a redução do consumos energéticos das instalações industriais, e consequentemente, para a melhoria da eficiência na utilização da energia, eliminado os desperdícios e aumentando o rendimento das conversões.

Isolamentos térmicos

O isolamento térmico define-se como um material (ou combinação de materiais) que retardam o fluxo de calor. Os materiais podem-se adaptar a qualquer tamanho, forma ou superfície.

O isolamento térmico é um elemento muito importante na conservação de energia, criando uma barreira térmica que reduz a transferência de calor. Melhora a eficiência energética colaborando com o ambiente. É uma medida de implementação simples que, pelo seu reduzido investimento, deve merecer atenção imediata por parte das indústrias.

A utilização de isolamentos térmicos permite [16]:

- Reduzir os custos de energia, ao minimizar as perdas de calor;
- Controlar a condensação;
- Fornecer a proteção para o frio;
- Fazer a proteção aos equipamentos;
- Controlar as temperaturas de processo;
- Proteger contra o fogo;
- Servir de isolamento acústico.

Formação e sensibilização dos recursos humanos

O treino, a formação e a motivação dos recursos humanos deve ser uma parte integrante de um sistema eficiente de gestão de energia. As empresas deverão realizar ações de sensibilização que se centralizem em: [16]

- Impactos ambientais da utilização de energia;
- Os benefícios da economia da energia;
- A dependência energética da indústria e o que esta pode fazer para economizar energia;
- Qual a atitude cívica individual para economizar energia.

Redução da energia reativa

Para fazer os motores, transformadores e outros equipamentos com enrolamentos funcionarem, são necessárias a energia ativa e a energia reativa. A energia reativa produz o fluxo magnético nas bobinas dos equipamentos, para que os eixos dos motores possam girar. Já a energia ativa é aquela que executa de facto as tarefas, fazendo os motores girarem para realizar o trabalho do dia-a-dia. Apesar de necessária, a utilização de energia reativa deve ser a menor possível. O excesso de energia reativa exige condutores de maior secção e transformador de maior capacidade, além de provocar perdas por aquecimentos e queda de tensão [27].

Figura 27 – Energia Ativa / Energia Reativa (Fonte: Coelba – Grupo Neoenergia)

O **fator de potência** é o índice que relaciona a energia ativa e reativa de uma instalação elétrica, sendo um dos principais indicadores de eficiência energética. O fator de potência próximo de 1 indica pouco consumo de energia reativa em relação à energia ativa. Uma vez que a energia ativa é aquela que efetivamente executa as tarefas, quanto mais próximo da unidade for o fator de potência, maior é a eficiência da instalação elétrica.

Medidas para reduzir a energia reativa:

- Evitar a operação de motores sem carga ou com cargas muito abaixo do ótimo;

- Substituir motores convencionais por motores de alta eficiência energética, e manter estes a operar perto da sua carga ótima;
- Instalar baterias de condensadores adicionais, ou melhorar a distribuição das baterias já instaladas.

1.7.2. MEDIDAS ESPECÍFICAS DO SETOR

Foram referidas Medidas Transversais que se podem aplicar à generalidade das unidades industriais, no entanto existem outras Medidas que embora provoquem um impacto inferior na economia Portuguesa, a nível setorial, revelam-se de grande importância. Por uma questão de enquadramento, neste trabalho apenas se trata o setor da Alimentação e Bebidas.

1.7.2.1. Alimentação e Bebidas

Destilação sob vácuo

Realiza-se sob pressão atmosférica reduzida. Como a temperatura de ebulição de um líquido é atingida quando a pressão de vapor se iguala à pressão externa, ao diminuir-se artificialmente a pressão sobre o líquido, consegue-se realizar a destilação a uma temperatura inferior ao ponto de ebulição normal.

Esta tecnologia em que a evaporação ocorre a uma temperatura de ebulição mais reduzida, sendo possível o aproveitamento do calor residual noutra fase do processo produtivo, traduz-se numa redução do consumo de energia térmica.

Outra vantagem prende-se com a possibilidade de purificar líquidos que se decompõem antes mesmo de entrarem em ebulição ou que precisam de elevadas temperaturas para serem destilados. Através desta técnica é ainda possível eliminar o problema da formação de depósitos nas tubagens que ocorre nos processos a alta temperatura.

Processos se separação por membranas

Na maioria dos processos das indústrias alimentares, operações de separação são necessárias para a obtenção de produtos com as características desejadas. Essas operações normalmente são responsáveis pelos maiores custos de produção.

Durante a década de 70, o interesse em processos de separação alternativos foi estimulado pelo aumento dos custos de energia, devido ao aumento dos preços do petróleo. Foi quando em adição às técnicas clássicas de separação a tecnologia de membranas se realçou como uma alternativa. Dentre os processos de separação por membranas destacam-se: microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose inversa (OI), eletrodiálise (ED), diálise, pervaporação (PG) e, mais recentemente, a evaporação osmótica.

A tecnologia de separação por membranas baseia-se no princípio de que os componentes de misturas líquidas ou gasosas, de acordo com suas características moleculares, podem permear seletivamente através de uma membrana, porém para que ocorra o transporte é necessária a existência de uma força motriz (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

Quando comparados aos processos convencionais, os de separação com membranas apresentam a vantagem de geralmente poder operar em temperaturas brandas, minimizando a perda de componentes termossensíveis.

Esta tecnologia também se destaca pela sua seletividade, simplicidade de operação e escalonamento, e por reduzir drasticamente a energia térmica necessária associada aos processos tradicionais.

A principal barreira à implementação deste tipo de processo prende-se com a colmatação irreversível das membranas.

A tabela seguinte mostra as possíveis aplicações de processos de membranas em viários setores.

SETOR	APLICAÇÕES	PROCESSO DE MEMBRANAS
Laticínios	Concentração de soro	OI
	Concentração de leite	OI
	Dessalinização de soro	ED / NF
	Fracionamento de proteínas	UF
	Concentração de ovo e clara de ovo	UF
	Tratamento de águas residuais	UF / NF

Moagem de cereais	Recuperação e reutilização de águas residuais	UF
	Recuperação de produtos secundários existentes em águas residuais	UF
Bebidas	Estabilização da cerveja a frio	MF
	Clarificação de vinho	UF
	Desalcoolização de cerveja e vinho	OI
	Pré tratamento da água	OI
	Tratamento de sumo de citrinos	OI
	Tratamento de águas residuais	OI / NF
Óleos e gorduras alimentares	Tratamento de águas residuais	OI / NF
Açúcar	Pré concentrado de soluções de açúcar diluídas	UF
	Concentração de melaço	UF
	Recuperação de açúcares de águas de lavagem	UF / OI
Frutas e Vegetais	Concentração de sumos	UF / OI
	Concentração de aromas	UF / OI
	Tratamento de águas residuais	OI / NF

Figura 28 – Aplicações de processos de membranas

Otimização da estertilização

Esterilização por feixe de eletrões – A esterilização por feixe de eletrões utiliza-se na indústria alimentar aquando da resolução dos problemas associados à baixa capacidade de penetração e à complexidade de equipamentos. Esta técnica pode ser aplicada na esterilização de produtos alimentares sensíveis à temperatura e que não possam ser pasteurizados. Uma outra vantagem prende-se com a redução do consumo de energia comparativamente com a pasteurização clássica.

Esterilização com autoclave horizontal – Estes equipamentos são caracterizados por rendimento elevado. A substituição dos esterilizadores com autoclave vertical por esterilizadores com autoclave horizontal entende-se como uma medida de aumento de eficiência. As principais limitações do uso da esterilização com autoclave vertical

prendem-se com o longo tempo necessário para a esterilização bem como a não completa secagem do material após o ciclo de esterilização. Na esterilização com autoclave horizontal, o alto vácuo reduz o tempo necessário para processamento e penetração mais rápida do vapor nos materiais a esterilizar.

1.8. AUDITORIAS ENERGÉTICAS

Uma auditoria energética é uma inspeção, estudo e análise dos fluxos de energia num edifício, processo ou sistema com o objetivo de compreender dinâmica do sistema objeto de estudo. Normalmente é efetuada com o objetivo de encontrar oportunidades para reduzir a quantidade de energia de entrada num sistema sem afetar negativamente a saída. Assim, uma auditoria energética permite:

- Identificar as possibilidades reais de redução da factura de energia da instalação;
- Verificar o potencial de implementação de energias renováveis;
- Apoiar o gestor/ decisor na escolha de tecnologias energeticamente mais eficientes.
- Fornecer informações importantes sobre o sector energético de uma instalação;
- Calcular indicadores energéticos relevantes, como a intensidade energética (IE), o consumo específico (CE) ou a intensidade carbónica (IC).

As empresas do sector Agroalimentar, necessitam melhorar a eficiência energética das suas instalações e do próprio funcionamento. Eficiência energética essa que, por um lado, permitirá reduzir a factura energética e, por outro melhorar a capacidade competitiva para fazer frente aos importantes desafios que enfrentam, com o benefício de as ajudar a reduzir impactos ambientais que provocam alguns dos seus resíduos ou subprodutos.

Regra geral, os estudos energéticos e de redução de custos, quando existem, são de caráter geral e não abordam aspetos específicos e concretos para os principais setores, pelo que, a elaboração de diagnósticos energéticos e a análise de possíveis medidas a aplicar constituem uma inovação.

Levar a cabo auditorias energéticas a um número determinado de indústrias deverá ser visto também como um elemento inovador porque permitirá identificar de que forma a energia está a ser utilizada e ao mesmo tempo identificar medidas corretivas. Por outro lado, até agora, os estudos energéticos e de poupança e diversificação em

sectores industriais, quando existem, são de carácter geral e horizontal, sem abordar aspectos específicos e concretos para os principais sectores económicos dos respectivos territórios, pelo que a elaboração dos Diagnósticos Energéticos e a análise pormenorizada das medidas aplicáveis constitui um segundo elemento inovador para o projecto. Em Portugal, o SISTEMA DE GESTÃO DE CONSUMOS INTENSIVOS DE ENERGIA (SGCIE) – Decreto-Lei 71/2008, de 15 de Abril, regula o sistema de gestão dos consumos intensivos de energia, instituído com o objetivo de promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos de instalações consumidoras intensivas de energia. Constitui uma aplicação obrigatória em instalações com consumo energético ≥ 500 e ≤ 1000 Tep/ano, em que é necessário efetuar auditoria energética no ano seguinte ao ano do registo e com uma periodicidade de 8 anos, e em instalações com consumo energético> 1000 Tep/ano em que é necessário realizar auditoria 4 meses após o registo e com uma periodicidade de 6 anos. Em instalações com consumo <500 Tep/ano as aplicações do SGCIE são voluntárias.

O **Plano de Racionalização do Consumo de Energia** (PREn) baseia-se na realização de uma Auditoria Interna através da qual se fixam metas de redução dos consumos de energia por famílias de produto, tendo em conta o consumo actual da instalação e os consumos de referência definidos pela Direção Geral de Geologia e Energia, em conformidade com a legislação em vigor. Serão identificadas e qualificadas as medidas necessárias para atingir os objetivos definidos de redução dos consumos.

Após a aprovação da Auditoria Energética e respectivo Plano de Racionalização do Consumo Energético, este último passa a designar-se Acordo de Racionalização do Consumo de Energia (ARCE). Este acordo prevê a implementação de medidas redutoras dos consumos de energia, bem como a apresentação à Direção Geral de Energia de um relatório bianual de progresso do acordo, sendo o último tutelado pela Agência para a Energia.

O operador de instalações abrangidas por um Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE) beneficia dos seguintes estímulos e incentivos à promoção da eficiência energética:

- No caso de instalações com consumos inferiores a 1000 tep/ano – Ressarcimento de 50% do custo das auditorias energéticas obrigatórias, até ao limite de € 750 e na medida das disponibilidades do fundo de eficiência energética existentes para o efeito, recuperáveis a partir do relatório de execução e progresso (REP) que verifique a execução de pelo menos 50% das medidas previstas no ARCE;

- Ressarcimento de 25% dos investimentos realizados em equipamentos e sistemas de gestão e monitorização dos consumos de energia até ao limite de € 10 000 e na medida das disponibilidades do fundo de eficiência energética existentes para o efeito.

No caso das instalações que consumam apenas gás natural como combustível e/ou energias renováveis, os limites previstos nos números anteriores são majorados em 25% no caso das renováveis e 15% no caso do gás natural [21]. No anexo I encontra-se a título de exemplo, um modelo com as diretrizes para elaborar uma auditoria energética na indústria.

CAPÍTULO 2

TECNOLOGIAS E SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

2.1.INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas de refrigeração já era do conhecimento humano mesmo na época das mais antigas civilizações. A civilização chinesa, muitos séculos antes de Cristo, já recorria ao uso do gelo natural (colhido nas superfícies dos rios e lagos congelados e conservado com grandes cuidados, em poços cobertos com palha e cavados na terra) com a finalidade de conservar o chá que consumiam. As civilizações gregas e romanas que também aproveitavam o gelo colhido no alto das montanhas, a custo do braço escravo, para preparar bebidas e alimentos gelados.

Já a civilização egípcia, que dada a sua localização geográfica e ao clima não dispunham de gelo natural, refrescavam a água por evaporação, usando vasos de barro. O barro, sendo poroso, deixa passar um pouco da água contida no seu interior, a evaporação desta para o ambiente faz baixar a temperatura do sistema. Entretanto, durante um largo período de tempo, a única utilidade que o homem encontrou para o gelo foi a de refrigerar alimentos e bebidas para melhorar seu paladar.

No final do século XVII, foi inventado o microscópio e, com o auxílio deste instrumento, verificou-se a existência de microorganismos (micróbios e bactérias) invisíveis ao olho nu.

Estudos realizados por cientistas, entre eles o célebre químico francês Louis Pasteur, demonstraram que alguns tipos de bactérias são responsáveis pela putrefação dos alimentos e por muitos tipos de doenças e epidemias. Ainda através de estudos, ficou comprovado que a contínua reprodução das bactérias podia ser impedida ou pelo menos limitada pela aplicação do frio. Essas conclusões provocaram, no século XVIII, uma grande expansão da indústria do gelo. Contudo, o uso do gelo natural trazia consigo uma série de inconvenientes que prejudicavam seriamente o desenvolvimento da refrigeração, tornando-a de valia relativamente pequena. Assim, ficava-se na dependência direta da natureza para a obtenção da matéria primordial, isto é, o gelo, que só se formava no inverno e nas regiões de clima bastante frio. O fornecimento, portanto, era bastante irregular e, em se tratando de países mais quentes, era sujeita a um transporte demorado, no qual a maior parte se perdia por derretimento, especialmente porque os meios de conservá-lo durante este transporte eram deficientes. Por este motivo, engenheiros e pesquisadores voltaram-se para a busca de meios e processos que permitissem a obtenção artificial de gelo, liberando o homem da dependência da natureza. Em consequência desses estudos, em 1834 foi inventado, nos Estados Unidos, o primeiro sistema mecânico de fabricação de gelo artificial e, que constituiu a base precursora dos atuais sistemas de compressão frigorífica.

Em 1855 surgiu na Alemanha outro tipo de mecanismo para a fabricação do gelo artificial, este, baseado no princípio da absorção, descoberto em 1824 pelo físico e químico inglês Michael Faraday. O uso de gelo de origem natural ou artificial como refrigerante era bastante comum até pouco antes da I Guerra Mundial. A eficácia do gelo como refrigerante é devida à sua temperatura de fusão de 0ºC, e para se derreter, necessita de absorver uma quantidade de calor equivalente a333,1 kJ/kg.

A utilização do gelo natural levou à criação, no princípio do século XIX, das primeiras geladeiras. Tais aparelhos eram constituídos simplesmente por um recipiente, quase sempre isolado por meio de placas de cortiça, dentro do qual eram colocadas pedras de gelo e os alimentos a conservar [Figura 29]. A fusão do gelo absorvia parte do calor dos alimentos e reduzia, de forma considerável, a temperatura no interior da geladeira [28].

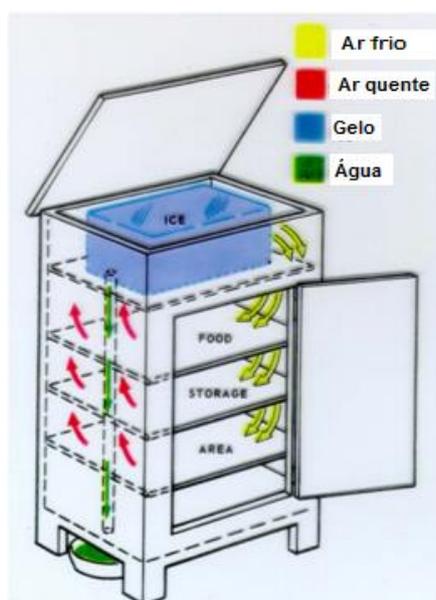



Figura 29 – Geladeira tradicional [29]

A indústria da refrigeração tem apresentado um crescimento elevado, e tornou-se numa indústria de grandes dimensões que movimenta bilhões de dólares por ano em todo o mundo. Alguns dos fatores que contribuíram para essa rápida expansão estão relacionados com o desenvolvimento da mecânica de precisão e dos processos de fabricação sofisticados, bem como com o desenvolvimento de compressores com motores elétricos de baixa potência. Outro fator importante para a expansão desta indústria prende-se com a evolução dos fluidos frigorigéneos.

Os sistemas de refrigeração para conforto térmico, embora ainda considerado um luxo por muitos, mostram-se cada vez mais necessários e presentes no nosso dia-a-dia.

Já os sistemas de refrigeração para finalidades industriais visam o tratamento do ar, tanto para proporcionar condições de conforto aos trabalhadores em ambientes insalubres, quanto ao controlo das condições do ar num determinado processo industrial.

Quando se trata de refrigeração industrial, torna-se difícil resumir quais as suas principais aplicações, uma vez que esta é utilizada em diversos tipos de indústrias e em processos diversificados, como por exemplo, na indústria alimentícia, farmacêutica, médica e hospitalar, metalúrgica e de transformação de metais e plásticos.

Define-se refrigeração por um processo através do qual de diminui a temperatura de uma dado espaço, mantendo-se essa temperatura com o objetivo de, por exemplo, conservar alimentos, conservar determinadas substâncias, ou produzir um ambiente agradável.

O arrefecimento ocorre através de processos de trocas de calor. O sistema de refrigeração recebe trabalho, e utiliza-o de modo a retirar energia sob a forma de calor de um espaço físico (fonte fria), transferindo-a para um meio de temperatura superior (fonte quente) [Figura 30].

W - Trabalho

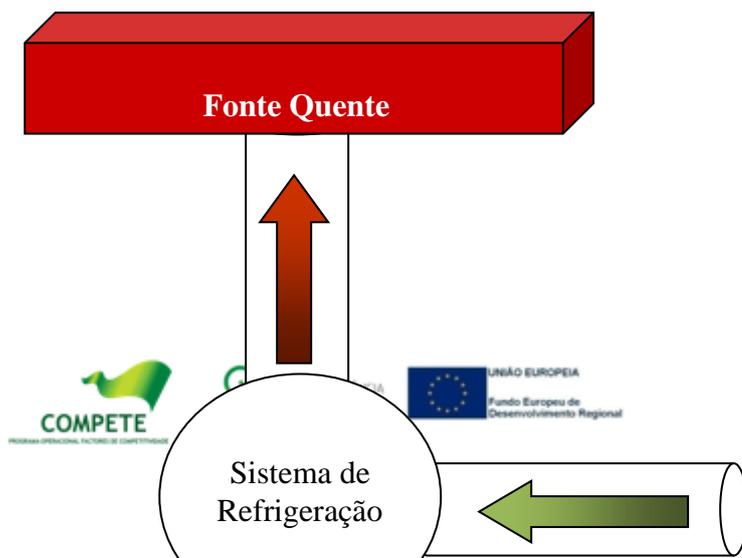



Figura 30 – Esquema de um sistema de refrigeração

Segundo o Enunciado de Clausius, a segunda lei da Termodinâmica, indica que o calor não pode fluir, de forma espontânea, de um corpo de temperatura menor, para um outro corpo de temperatura mais alta.

Tendo como consequência que o sentido natural do fluxo de calor é da temperatura mais alta para a mais baixa, e que para que o fluxo seja inverso é necessário que um agente externo realize um trabalho sobre este sistema. Geralmente utiliza-se energia térmica ou elétrica.

2.2.SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Os sistemas de refrigeração mais comuns são os sistemas de expansão de ar ou água, os sistemas de absorção e os sistemas de compressão de vapor. Existem outros, mas seja pela

sua capacidade reduzida de refrigeração, seja por se apresentarem onerosos, são pouco utilizados.

Sistemas de expansão a ar ou água

Neste sistema utiliza-se a energia mecânica para realizar a compressão do ar ou do gás até um nível de pressão muito elevada. Em seguida, o ar ou gás comprimido é arrefecido e expande-se para um nível de pressão mais baixa. Durante o processo de expansão a temperatura do ar ou gás diminui bastante, produzindo dessa forma o efeito de refrigeração. Este sistema utiliza o calor sensível do ar ou gás para efectuar o arrefecimento do meio a refrigera,r ao contrário da máquina de compressão a vapor ou de absorção que se baseiam no princípio do calor latente do fluido.

Sistemas de absorção

O funcionamento de um sistema de refrigeração por absorção é baseado no princípio de os vapores de alguns fluidos frigorigéneos conhecidos, serem absorvidos por certos líquidos ou soluções salinas.

Se a solução formada (vapor do fluido frigorigéneo + líquido absorvente) for aquecida, verifica-se uma separação entre o líquido e o vapor, em que o vapor pode ser condensado e aproveitado para a produção de frio.

O sistema por absorção não apresenta partes internas móveis o que lhe garante um funcionamento silencioso e sem vibração, reduzindo assim os gastos com a manutenção. Estas máquinas têm ainda a vantagem de utilizar energia térmica, simplificando situações onde a energia elétrica não está disponível ou tem elevado custo.

O sistema de refrigeração por absorção mais comum é aquele em que se utiliza amoníaco (NH3) como fluido frigorigéneo, e a água como absorvente.

Sistema de compressão de vapor

Este é o sistema mais utilizado. Iniciando com o fluido frigorigéneo que é comprimido no compressor no estado de vapor sobreaquecido, onde sua pressão e sua temperatura são aumentadas seguindo, posteriormente, diretamente para o condensador. Neste, por sua vez, o calor ganho no processo de compressão é rejeitado para o meio exterior, ocasionando assim o arrefecimento do fluido e a mudança da fase vapor para líquido. Deixando o condensador, no estado de líquido subarrefecido, o fluido segue para o dispositivo de expansão, que provoca uma queda de pressão, responsável também pela queda da temperatura, passando logo a seguir pelo evaporador que absorve calor do meio

a ser arrefecido causando o efeito frigorífico. O fluido de trabalho, então, muda de fase (líquido-vapor) saindo deste como vapor sobreaquecido, para retornar ao compressor, iniciando novamente o ciclo [30].

Pretende-se que o sistema de refrigeração tenha um desempenho o mais elevado possível. Para determinar esse desempenho calcula-se a eficiência (ou coeficiente de performance - COP):

$$\varepsilon = \frac{Calor\ removido\ do\ ambiente\ a\ baixa\ temperatura}{Trabalho\ fornecido\ ao\ exterior}$$

A eficiência de um sistema de refrigeração composto por um compressor, um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador, é tanto maior quanto o seu funcionamento de aproximar com as condições do ciclo de Carnot [Figura 31]. Isto porque, o teorema de Carnot, indica que nenhum engenho real que opere entre duas fontes de energia sob a forma de calor diferentes, pode ser mais eficiente que o engenho de Carnot a operar entre essas mesmas duas fontes.

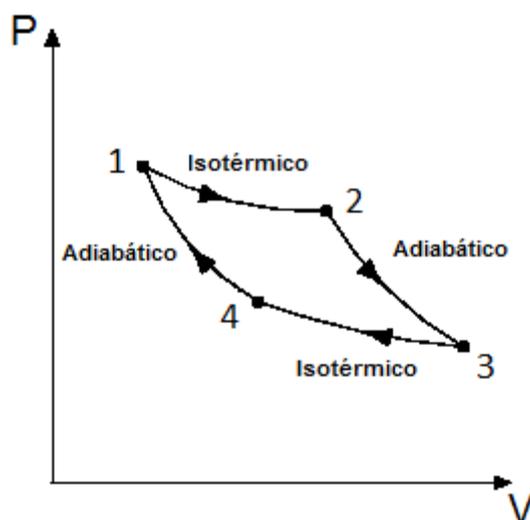



Figura 31 – Ciclo de Carnot

Este ciclo seria composto por quatro processos:

- Uma expansão isotérmica reversível. O sistema recebe uma quantidade de calor da fonte quente (1-2).

- Uma expansão adiabática reversível. O sistema não troca calor com o meio (2-3).
- Uma compressão isotérmica reversível. O sistema cede calor para a fonte fria (3-4).
- Uma compressão adiabática reversível. O sistema não troca calor com o meio (4-1).

A eficiência de uma máquina de Carnot é dada por:

$$\varepsilon_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Em que T_1 e T_2 representam as temperatura da fonte quente e da fonte fria respetivamente, em graus Kelvin.

O ciclo de Carnot é também um ciclo reversível isto é, pode ser realizado no sentido inverso, absorvendo trabalho ao invés de produzir, absorve a energia sob a forma de calor da fonte fria, e transfere-a para a fonte quente. Este é o princípio de funcionamento de uma máquina frigorífica.

Um ciclo térmico real qualquer deveria ter para comparação o ciclo de Carnot, por este ser o ciclo de maior rendimento térmico possível. Entretanto, dadas as peculiaridades do ciclo de refrigeração por compressão de vapor, define-se um outro ciclo, que é chamado de **ciclo teórico**, no qual os processos são mais próximos aos do ciclo real, e portanto, torna-se mais fácil comparar o ciclo real com este ciclo teórico (existem vários ciclos termodinâmicos ideais, diferentes do ciclo de Carnot, como o ciclo ideal de Rankine, dos sistemas de potência a vapor, o ciclo padrão ar Otto, para os motores de combustão interna a gasolina e álcool, e o ciclo padrão ar Brayton, das turbinas a gás. Este ciclo teórico ideal terá melhor performance operando nas mesmas condições do ciclo real.

A Figura 32 mostra um esquema básico de um sistema de refrigeração por compressão de vapor, com seus principais componentes, e o seu respectivo ciclo teórico construído sobre um diagrama de Mollier, no plano P-h. Os equipamentos esquematizados na referida figura representam, genericamente, qualquer dispositivo capaz de realizar os respectivos processos específicos indicados.

Na referida figura, os circuitos de alta pressão serão representados a vermelho e os de baixa pressão a azul.

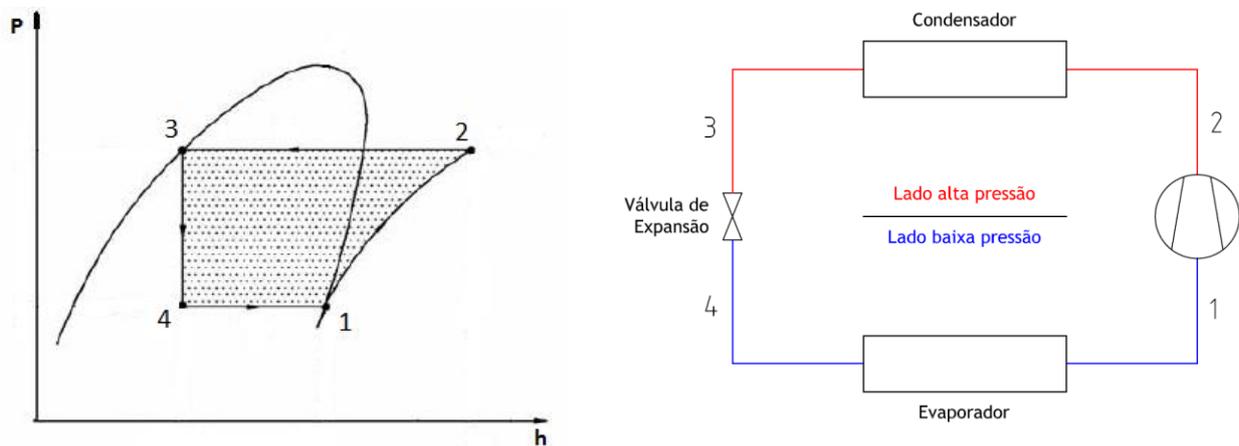



Figura 32 – Ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor [30]

Os processos termodinâmicos que constituem o ciclo teórico nos respectivos equipamentos são [30]:

Processo 1→2 – Ocorre no compressor, sendo um processo adiabático reversível e, portanto, isentrópico, como mostra a figura 32. O fluido frigorigéneo entra no compressor à pressão do evaporador (Po) e com título igual a 1 (x = 1). É então comprimido até atingir a pressão de condensação (Pc). Ao sair do compressor, está sobreaquecido à temperatura T_2, que é maior que a temperatura de condensação TC.

Processo 2→3 – Ocorre no condensador, sendo um processo de rejeição de calor, do fluido frigorigéneo para a fonte fria, a pressão constante. Neste processo o fluido frigorífico é arrefecido da temperatura T_2 até a temperatura de condensação, TC. A seguir, é condensado até se tornar líquido saturado na temperatura T_3, que é igual à temperatura TC.

Processo 3→4 – Ocorre no dispositivo de expansão, sendo uma expansão irreversível a entalpia constante (processo isentálpico), desde a pressão de condensação PC, e o líquido saturado (x = 0), até à pressão de vaporização (Po). O processo é irreversível e, portanto, a entropia do fluido frigorigéneo na saída do dispositivo de expansão (s4) será maior que a entropia do fluido frigorigéneo na sua entrada (s3).

Processo 4→1 – Ocorre no evaporador, sendo um processo de transferência de calor a pressão constante (Po) e, consequentemente, a temperatura constante (To), desde vapor húmido (estado 4) até atingir o estado de vapor saturado seco (x = 1). O calor transferido

ao fluido frigorigéneo no evaporador não modifica a sua temperatura, mas somente muda sua qualidade (título).

As diferenças principais entre o **ciclo real** e o ciclo teórico estão mostradas na Figura 33. Uma das diferenças está na queda de pressão nas linhas de descarga (líquido e de sucção), assim como no condensador e no evaporador. Estas perdas de carga, 6Pd e 6Ps, estão representadas na figura 33. Outras diferenças são o subarrefecimento do fluido frigorigéneo na saída do condensador (nem todos os sistemas são projetados com subarrefecimento) e o sobreaquecimento na sucção do compressor, sendo este também um processo importante, que tem a finalidade de evitar a entrada de líquido no compressor. Outro processo importante é o de compressão, que, no ciclo real é politrópico (s1 ≠ s2) e no processo teórico é isentrópico.

Devido ao sobreaquecimento e ao processo politrópico de compressão, a temperatura de descarga do compressor (T_2) pode ser muito elevada, tornando-se um problema para os óleos lubrificantes usados nos compressores frigoríficos. A temperatura de descarga não deve ser superior a 130ºC, o que, por vezes, exige o arrefecimento forçado do cabeçote dos compressores, principalmente quando são utilizados os fluidos frigorigéneos R717 e R22 (com baixas temperaturas de evaporação). Muitos outros problemas de ordem técnica, dependendo do sistema e de sua aplicação, podem introduzir diferenças significativas além das citadas [30].

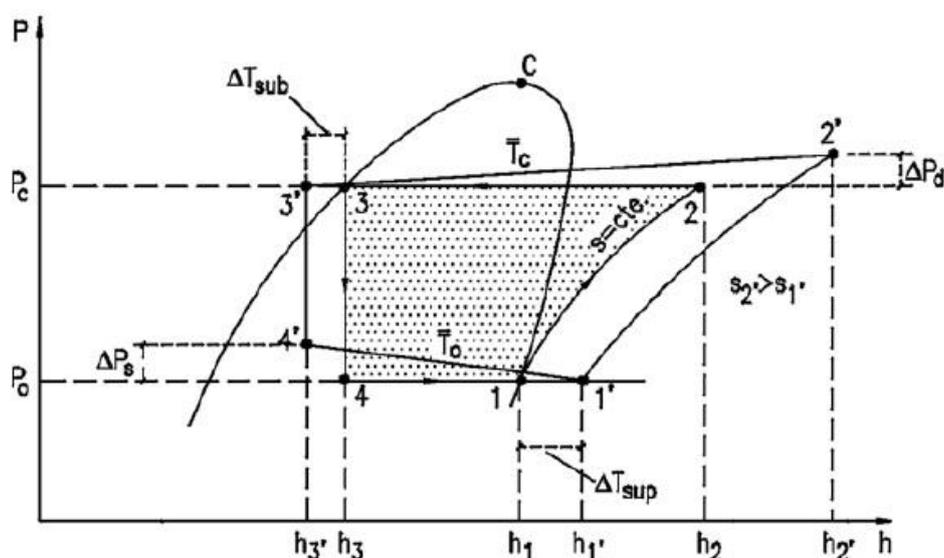



Figura 33 – Diferenças entre o ciclo teórico e o real de refrigeração [30]

2.3.FLUIDOS FRIGORIGÉNEOS

São substâncias utilizadas como veículos térmicos na realização dos ciclos de refrigeração.

Um fluido frigorigéneo satisfatório deve possuir certas propriedades químicas, físicas e termodinâmicas que tornem o seu uso seguro e económico, no entanto, não existe um fluido ideal.

As largas diferenças entre as condições operacionais e as exigências das várias aplicações fazem com que o fluido frigorigéneo ideal seja uma meta impossível de se alcançar. Então, um fluido frigorigéneo só se aproxima das condições ideais quando as suas propriedades satisfizerem as condições e exigências de uma determinada aplicação [31].

O emprego da refrigeração mecânica e o uso de compressores rotativos e centrífugos determinaram a pesquisa de novos produtos, levando à descoberta dos CFCs (hidrocarbonetos à base de flúor e cloro). Os CFCs reúnem, numa combinação única, várias propriedades desejáveis: não são inflamáveis, explosivos ou corrosivos, são extremamente estáveis e são muito pouco tóxicos.

Em 1974,foram detectados pela primeira vez problemas com CF's. Estes foram então condenados como os maiores responsáveis pelo aparecimento do buraco na camada de ozono sobre a Antártica. Devido ao efeito dos CFC's esta camada, o Protocolo de Montreal, de 1986,determinou a sua substituição, provocando uma verdadeira revolução na indústria frigorífica.

Seguem-se algumas características desejáveis num fluido frigorigéneo [30]:

- Pressão de vaporização não muito baixa;
- Pressão de condensação não muito elevada;
- Calor latente de vaporização elevado;
- Volume específico reduzido (especialmente na fase vapor);
- Coeficiente de performance (COP) elevado;
- Condutibilidade térmica elevada;
- Baixa viscosidade na fase líquida e gasosa;

- Baixa constante dielétrica, grande resistência elétrica e característica de não-corrosão dos materiais isolantes elétricos;
- Deve ser estável e inerte;
- Não deve ser poluente;
- Não deve ser tóxico ou excessivamente estimulante;
- Não deve ser inflamável ou explosivo;
- Deve ser de detecção fácil em caso de fuga;
- Deve ser de preço moderado e facilmente disponível.

Os fluidos frigorigéneos são designados, de acordo com a norma ASHRAE 34-1992, por números de, no máximo quatro algarismos, de acordo com a seguinte regra:

- O primeiro algarismo da direita indica o número de átomos de flúor na molécula;
- O segundo algarismo indica o número de átomos de hidrogénio mais 1;
- O terceiro algarismo indica o número de átomos de carbono menos 1;
- O quarto algarismo a partir da direita é utilizado para designar compostos derivados de hidrocarbonetos não saturados.

O National Institute of Standards (NIST), dos EUA, realizou uma pesquisa em que examinou mais de 800 fluidos industriais quanto ao potencial para uso como fluido frigorigéneo, devendo ser satisfeitas as seguintes condições termodinâmicas:

1ª) Temperatura de fusão inferior a -40ºC;
2ª) Temperatura crítica superior a 80ºC;
3ª) Pressão de saturação a 80ºC inferior a 50MPa; e
4ª) hlv/vv superior a 1kJ/litro.

A 1ª e 2ª condições visam a eliminação de fluidos com ponto de fusão e temperatura crítica próximos da faixa de operação típica de aplicações frigoríficas. A 3ª condição visa a eliminação de fluidos excessivamente voláteis, associados a pressões excessivamente elevadas. A 4ª condição está relacionada ao tamanho do compressor.

Os fluidos frigorigéneos podem ser divididos em três classes, consoante a sua forma de absorção ou extração do calor das substâncias a serem refrigeradas:

- Classe 1 – essa classe inclui os fluidos frigorigéneos que refrigeram materiais por absorção do calor latente. São exemplos dessa classe os CFC's, HCFC's e os HFC's;

- Classe 2 – os fluidos frigorigéneos dessa classe são os que refrigeram substâncias pela absorção do seu calor sensível. São elas: ar, salmoura de cloreto de cálcio, salmoura de cloreto de sódio (sal comum) e álcool;
- Classe 3 – esse grupo consiste de soluções que contêm vapores absorvidos de agentes liquidificáveis ou meios refrigerantes. Essas soluções funcionam pela natureza da sua habilidade em conduzir os vapores liquidificáveis que produzem um efeito de arrefecimento pela absorção do calor latente. Um exemplo desse grupo é o amoníaco, NH_3.

Os fluidos frigorigéneos da Classe 1 são empregados no tipo de compressão padrão dos sistemas de refrigeração. Os fluidos frigorigéneos da Classe 2 são usados como agentes imediatos entre a Classe 1 e a substância a ser refrigerada, e fazem o mesmo trabalho que a Classe 3. Esses últimos são empregados no tipo de absorção padrão dos sistemas de refrigeração [32].

Para uma dada instalação frigorífica, as pressões exercidas podem ser fator determinante na seleção do fluido frigorigéneo. Se por um lado, pressões elevadas exigem tubagens e reservatórios de maior espessura, por outro, fluidos frigorigéneos de baixa pressão podem ser inadequados em aplicações de baixa temperatura de evaporação, devido à possibilidade de ocorrência de pressões inferiores à atmosférica em determinadas regiões do circuito, o que possibilita a penetração de ar atmosférico.

Os fluidos R404A, R502 e R13, por exemplo, apresentam pressões superiores, razão pela qual são utilizados em aplicações de baixas temperaturas de evaporação. Já os fluidos frigorigéneos R12 e R134a apresentam pressões menores, sendo utilizados em aplicações com temperatura de evaporação mais elevada, entre -20ºC e 0ºC. O fluido frigorigéneo R404a foi desenvolvido para substituir o R502 em aplicações comerciais de baixa temperatura de evaporação, como balcões e câmaras de produtos congelados, enquanto que o fluido R134a, que é um HFC, é o substituto para o R12.

As pressões exercidas por um fluido frigorigéneo estão associadas à sua pressão crítica.

Quanto maior a sua pressão crítica, menos volátil é o fluido frigorigéneo, exercendo, portanto, menores pressões para uma dada temperatura. Fluidos frigorigéneos com pressões críticas mais elevadas apresentam pontos de fusão e ebulição normal superiores.

As temperaturas de evaporação e condensação constituem parâmetros que determinam o tipo de fluido adequado à instalação. Fluidos frigorigéneos de baixa temperatura crítica e, portanto, de baixa temperatura de ebulição normal, devem ser utilizados em aplicações de baixa temperatura de evaporação. Por outro lado, fluidos de elevada temperatura crítica são adequados para aplicações de alta temperatura de evaporação, como em bombas de calor para aquecimento de água [30].

Atualmente existe legislação que deve ser do conhecimento de todas as indústrias que utilizam sistemas de refrigeração, nomeadamente, legislação relativa a gases fluorados com efeito de estufa / substâncias que empobrecem a camada de ozono.

De seguida efetua-se uma breve descrição das particularidades dos Regulamentos da CE 1005/2009 (Revoga o Regulamento CE 2037/2000 a 1 de Janeiro de 2010) e 842/2006 que afectam a utilização dos equipamentos com fluidos frigorigéneos derivados de hidrocarbonetos.

O Regulamento CE n.º 842/2006 do Parlamento Europeu de 17 de Maio de 2006, publicado no mês de Junho do mesmo ano, especifica as actuações a levar a cabo com determinados gases fluorados com efeito de estufa (HFC - Hidrofluorcarbonetos) a fim de evitar a sua emissão para a atmosfera. Este regulamento entrou em vigor a partir do dia 04 de Julho de 2007.

O uso do fluido frigorigéneo R22, por ser um HCFC – Clorodifluorometano, está regulado pelo Regulamento CE n.º 1005/2009 de 16 de Setembro. Em termos de direito interno, as questões relacionadas são definidas pelo DL n.º152/2005, alterado pelo DL n.º 35/2008. Segundo este Regulamento:

- Depois do dia 1 de Janeiro de 2010, deixou de ser possível utilizar fluido frigorigéneo virgem R22 nos sistemas existentes. O sistema de refrigeração só pode ser reabastecido com R22 reciclado.
- Depois do dia 1 de Janeiro de 2015, deixará de ser possível utilizar fluido frigorigéneo reciclado R22 nos sistemas existentes.
- As fugas detectadas nos equipamentos ou sistemas devem ser reparadas o mais rapidamente possível e, no máximo, no prazo de 14 dias.

- O equipamento ou sistema deve ser controlado para detecção de fugas no prazo de um mês a contar da reparação de uma fuga, a fim de assegurar a eficácia da reparação.

Ambos os Regulamentos, em caso de alteração das condições de estanqueidade dos equipamentos, obrigam à recuperação dos fluidos frigorigéneos e a testes periódicos para detecção de fugas quando tem mais de 3 Kg de fluido frigorigéneo (Regulamento CE n.º 842/2006).

A periodicidade do controlo de detecção de fugas indicada neste Regulamento é:

- Unidades com mais de 3 Kg – Pelo menos um controlo por ano;
- Unidades com mais de 30 Kg – Pelo menos um controlo a cada seis meses;
- Unidades com mais de 300 Kg – Pelo menos um controlo a cada três meses.

Este Regulamento também exige o registo de todas as operações do controlo de estanqueidade e de recarga de fluido frigorigéneo para cada unidade. No registo, para além do resultado da detecção de fugas, deve aparecer a quantidade de fluido inserido, a data, a empresa e o técnico que os realizou.

O Regulamento n.º 842/2006 reitera que se faça a recuperação do fluido frigorigéneo sempre que se realizem trabalhos de manutenção ou reparação que possam afectar a estanqueidade do circuito frigorífico e sempre que se vá eliminar uma unidade.

O processo de recuperação de fluido frigorigéneo deve realizar-se por pessoal qualificado.

A figura seguinte mostra um resumo do referido.

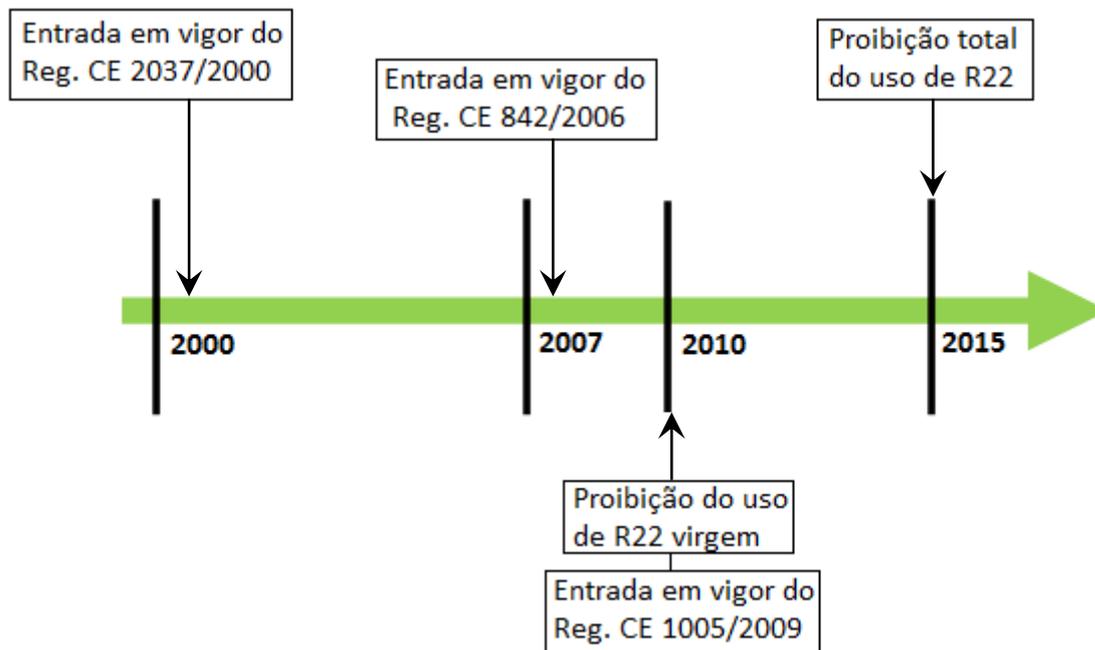



Figura 34 – Resumo da entrada da legislação em vigor.

2.4.PRINCIPAIS ELEMENTOS DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Os sistemas de refrigeração por compressão de vapor são os mais utilizados em todo o mundo. Posto isto, a análise dos principais elementos é referente a este tipo de sistema.

Ora, um esquema básico de um sistema de refrigeração por compressão de vapor é composto por quatro elementos: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador.

Compressor

A função do compressor é aumentar a pressão do fluido frigorigéneo e promover a circulação desse fluido no sistema. As duas grandezas mais importantes no seu desempenho são a capacidade de refrigeração e a potência.

Os principais tipos de compressores utilizados são: alternativo, centrífugo, de parafusos, palhetas e Scroll. A escolha do tipo de compressor depende, essencialmente, da capacidade da instalação.

Segundo as características do processo de compressão, os compressores utilizados em refrigeração podem ser classificados como: máquinas de deslocamento positivo ou máquinas de fluxo. O compressor de deslocamento positivo aumenta a pressão do vapor de fluido frigorigéneo pela redução do volume interno de uma câmara de compressão através de uma força mecânica aplicada (Ex: compressores alternativos, de parafusos, de palhetas e Scroll). No compressor de fluxo o aumento de pressão deve-se essencialmente à conversão de pressão dinâmica em pressão estática (compressor centrífugo).

Quanto à sua configuração geométrica, os compressores podem ser classificados como: abertos, herméticos e semi-herméticos.

Nos compressores do tipo aberto o eixo de acionamento do compressor atravessa a carcaça, permitindo o acionamento por um motor externo, facilitando a manutenção/reparação. Este tipo de compressor é adequado para operar com amoníaco, podendo também utilizar fluidos halogenados e proporciona maiores capacidades de refrigeração.

No compressor hermético, tanto o compressor propriamente dito quanto o motor de acionamento estão alojados no interior de uma carcaça, apresentando como acesso de entrada e saída apenas as ligações elétricas do motor. Este tipo de compressor opera exclusivamente com fluido frigorigéneos halogenados e o vapor de fluido frigorigéneo entra em contato com o enrolamento do motor, arrefecendo-o.

Os compressores semi-herméticos são semelhantes aos herméticos, porém permitem a remoção do cabeçote, tornando possível o acesso às válvulas e aos pistões.

Efetua-se de seguida uma breve descrição quanto ao tipo de compressor utilizado:

Compressor alternativo – é o mais comum em sistemas de refrigeração. A compressão do gás é feita numa câmara de volume variável por um pistão, com as válvulas de sucção e descarga, organizadas de forma a bombear o fluido frigorigéneo. A admissão e a expansão do vapor do fluido frigorigéneo são controladas por intermédio de válvulas que se encontram dispostas no compressor de modo a permitirem a compressão. Em termos geométricos e de volume apresenta-se disponível na categoria monocilíndrica ou multicilíndrica.

Compressor centrífugo – Os compressores centrífugos foram introduzidos em instalações frigoríficas por Willis Carrier, em 1920. São amplamente utilizados em sistemas de grande porte. O seu princípio de funcionamento é semelhante ao de uma bomba centrífuga.

No compressor centrífugo, o rotor ou propulsor gira em alta velocidade dentro da carcaça. O fluido frigorigéneo é alimentado dentro da carcaça, no centro do propulsor. O propulsor força o vapor contra a sua parte externa, através da força centrífuga, fazendo-o mover-se a alta velocidade. De seguida, o gás em alta velocidade desacelera e expande.

O gás, com a pressão aumentada entra na sucção de um outro propulsor, passando por todo o processo novamente e saindo com pressão ainda mais elevada. Cada vez que esse processo se repete chama-se de estágio de compressão.

Os modelos voltados para a refrigeração industrial podem chegar a contar com 4 estágios de compressão enquanto os voltados para uso comercial em geral contam com apenas um ou dois estágios.

Compressor de parafuso – O compressor de parafuso pode ser classificado de parafuso simples e de parafuso duplo. O compressor de parafuso duplo é o mais utilizado.

Se cortássemos um compressor de parafuso, veríamos dois rotores (´parafusos`). Um com uma rosca macho e outro com fêmea. É exatamente essa diferença que lhe permite comprimir o fluido frigorigéneo quando dos dois parafusos se tocam.

O rotor macho aciona o rotor fêmea, que fica alojado numa carcaça estacionária. O fluido frigorigéneo entra pela parte superior em uma das extremidades e sai pela parte inferior da outra extremidade.

Quando o espaço entre os ressaltos passa pela entrada, a cavidade é preenchida pelo fluido frigorigéneo, pois em rotação contínua o fluido retido na cavidade move-se, circulando pela carcaça do compressor, até encontrar um ressalto do rotor macho, que começa a encaixar-se na cavidade do rotor fêmea, reduzindo o volume da cavidade e comprimindo o gás. Ao atingir o orifício de saída, ocorre a descarga, devido ao encaixe do ressalto na cavidade. Alguns compressores utilizam um sistema injetor de óleo para lubrificar e selar a folga entre as roscas e a parede do compressor.

Assim, em sistemas operando com compressores parafuso torna-se necessário à instalação de um separador de óleo.

Compressor de palhetas – O compressor de palhetas pode ser divididos em compressor de palheta simples e compressor de múltiplas palhetas.

No compressor de palhetas simples, a linha de centro do eixo de acionamento coincide com a do cilindro, porém é excêntrica em relação ao rotor, de maneira que o rotor e o cilindro permanecem em contato à medida que gira. Uma palheta simples, acionada por mola, divide as câmaras de aspiração e descarga.

No compressor de palhetas múltiplas, o rotor gira em torno do próprio eixo, que não coincide com o eixo do cilindro, e possui duas ou mais palhetas, que permanecem em contato com a superfície do cilindro pela ação da força centrífuga.

Compressor do tipo scroll – Para realizar o trabalho de compressão, o compressor Scroll possui duas peças em forma de espiral, encaixadas face a face, uma sobre a outra. A espiral superior é fixa e apresenta uma abertura para a saída do gás. A espiral inferior é móvel, acionada por um motor com eixo excêntrico.

A sucção do gás ocorre na extremidade do conjunto de espirais e a descarga ocorre através da abertura da espiral fixa. A espiral superior possui selos que deslizam sobre a espiral inferior, atuando de maneira semelhante aos anéis do pistão de um compressor alternativo, garantindo a vedação do gás entre as superfícies de contato das espirais [30].

Condensador

Os condensadores são os componentes do ciclo de refrigeração responsáveis por transferir o calor do sistema para o ar ou água. O calor é absorvido pelo evaporador e deslocado até o condensador pelo compressor. São identificados de acordo com o fluido para o qual transferem calor:

Condensadores arrefecidos a água - Quando limpos corretamente e bem dimensionados, operam de forma mais eficiente que os condensadores arrefecidos a ar, especialmente em períodos de elevada temperatura ambiente. São normalmente utilizados em sistemas de maior dimensão.

Normalmente, estes condensadores utilizam água proveniente de uma torre de refrigeração. A temperatura de condensação, por sua vez, deve ser fixada num valor entre 5,0ºC e 8,0ºC maior que a temperatura da água que entra no condensador, isto é, da água que deixa a torre [30].

Nos condensadores de **duplo tubo**, o tubo por onde circula a água é colocado dentro de um tubo de diâmetro superior. O fluido frigoigéneo circula em contracorrente no espaço anelar formado pelos dois tubos, sendo arrefecido em simultâneo pela água e pelo ar que está em contato com a superfície externa do tubo de maior diâmetro.

Os condensadores de **carcaça e serpentina** (Shell and Coil) são constituídos por um ou mais tubos, enrolados em forma de serpentina e montados numa carcaça fechada. A água fria flui dentro dos tubos enquanto o fluido frigorigéneo a condensar escoa pela carcaça.

Os condensadores de **carcaça e tubo** (Shell and Tube) têm utilização mais comum que os de carcaça e serpentina. São constituídos por uma carcaça cilíndrica, na qual estão instalados um certo número de tubos horizontais e paralelos, ligados a duas placas dispostas nas extremidades. A água fria circula dentro do feixe de tubos e o fluido frigorigéneo circula dentro da carcaça, em volta dos tubos. Os tubos são de cobre e os espelhos de aço são para hidrocarbonetos halogenados.

Nos condensadores de **placas**, geralmente as suas placas são de aço inox. Estas são montadas paralelamente umas às outras, separadas por curta distância. A água fria e o fluido frigorigéneo circulam entre espaços alternados formados pelas placas.

Condensador arrefecido a ar - Os condensadores arrefecidos a ar apresentam uma configuração típica de um permutador de calor de tubos e alhetas. O vapor proveniente do compressor a alta pressão e temperatura entra no colector que alimenta os circuitos individuais de troca de calor da serpentina do condensador (tubos). Primeiro, o vapor de fluido frigorigéneo sofre um desuperaquecimento e depois começa a liquefazer à medida que o calor é rejeitado para o exterior. O fluido frigorigéneo liquefeito sai pela parte inferior do condensador, geralmente no estado de líquido subarrefecido. A superfície principal do lado de fora do permutador de calor é melhorada com a adição de alhetas. As alhetas aumentam consideravelmente o processo de transferência de calor através do aumento significativo da área da superfície frontal.

Condensador evaporativo - Nos condensadores evaporativos, o vapor sobreaquecido a alta pressão e temperatura elevada, entra no colector do permutador de calor do condensador (parte superior). O colector distribui o gás quente pelos tubos do permutador de calor que

estão dispostos numa configuração típica em serpentina. À medida que o fluido frigorigéneo se desloca no interior dos tubos, através do permutador, rejeita calor para o ambiente exterior e o fluido frigorigéneo gasoso liquefaz durante no processo. O fluido frigorigéneo no estado de líquido saturado é recolhido a partir da saída do permutador de calor através de um colector de líquido de maior dimensão. De seguida, um tubo de drenagem, conduz por gravidade o líquido condensado a partir do colector de líquido para o depósito de líquido de alta pressão. Estes condensadores estão dotados de ventiladores para movimentarem o ar ambiente no seu interior para transportar o calor para longe do permutador, neste caso para o ambiente exterior.

Válvulas de expansão

As válvulas de expansão têm a função de reduzir a pressão do fluido frigorigéneo desde a pressão de condensação até a pressão de vaporização. Ao mesmo tempo, este dispositivo deve regular o caudal de fluido frigorigéneo que chega ao evaporador, de modo a satisfazer a carga térmica aplicada ao mesmo. Neste item serão considerados alguns dos principais tipos de dispositivos de expansão, entre eles: válvula de expansão termostática, válvulas de expansão electrónicas, válvulas de bóia, válvulas de expansão de pressão constante e tubos capilares.

Válvulas de expansão termostáticas – São as mais comuns em sistemas de refrigeração de expansão direta, e regulam o fluxo de fluido frigorigéneo que chega ao evaporador de modo a manter um certo grau de sobreaquecimento do vapor que sai do mesmo. A força necessária para o seu accionamento é obtida do sobreaquecimento do estado gasoso do fluido frigorigéneo no evaporador por meio de um sensor de temperatura. São constituídas por um corpo, uma mola, um diafragma, um parafuso de ajuste e um bulbo sensível. O bulbo, que contém no seu interior fluído frigorigéneo saturado do mesmo tipo que o utilizado no sistema frigorífico, é conectado com a parte superior do diafragma por meio de um tubo capilar e deve ser posicionado em contato com a tubagem de saída do evaporador. A saída da válvula é conectada com a tubagem de entrada do evaporador.

Quando o fluido frigorigéneo passa através do orifício da válvula, a sua pressão é reduzida até à pressão de vaporização. O fluido frigorigéneo líquido escoa através do distribuidor e dos tubos do evaporador, vaporizando-se à medida que recebe calor. Em determinada

posição ao longo do comprimento da tubagem, todo o fluido frigorigéneo líquido vaporizou-se. A partir deste ponto, qualquer fluxo adicional de calor provocará um aumento da temperatura do fluido frigorigéneo. Assim, quando alcança a saída do evaporador, o fluido frigorigéneo apresenta pequeno grau de sobreaquecimento, em relação à temperatura de saturação, para a pressão de vaporização.

Se a carga térmica aumenta, mais fluido frigorigéneo se vaporiza. Consequentemente a posição do ponto em que termina a vaporização do fluido frigorigéneo move-se em direção à entrada do evaporador. Isto causa um aumento do sobreaquecimento do fluido frigorigéneo, o que está associado a um aumento da temperatura na região onde está instalado o bulbo da válvula.

Como dentro do bulbo existe fluido frigorigéneo saturado, este aumento de temperatura provoca um aumento de pressão no interior do mesmo e na parte superior do diafragma, fazendo a agulha obturadora mover-se para baixo, abrindo a válvula e aumentando o caudal de fluido frigorigéneo. Assim, mais líquido entra no evaporador, de forma a satisfazer a carga térmica.

Se ocorrer diminuição da carga térmica, o superaquecimento do fluido frigorigéneo na saída do evaporador tende a diminuir, o que provoca o fecho da válvula, diminuição do caudal de fluído frigorigéneo e aumento da diferença de pressão entre a entrada e a saída da válvula.

Válvulas de expansão electrónicas – Utilizam um térmistor para detectar a presença de fluido frigorigéneo líquido na saída do evaporador. Quando não ocorre a presença de líquido, a temperatura do térmistor aumenta, o que reduz a sua resistência elétrica, permitindo uma maior passagem de corrente pelo aquecedor instalado na válvula. A válvula é assim aberta, permitindo um maior fluxo de fluido frigorigéneo.

Uma das aplicações da válvula de expansão electrónica é em bombas de calor, onde o fluxo de fluido frigorigéneo é invertido quando se pretende passar de máquina frogirífica para bomba de calor. Uma vez que o controlo é independente das pressões do fluido frigorigéneo, a válvula pode operar em qualquer sentido.

Válvulas de bóia – Estas válvulas mantêm constante o nível de líquido num recipiente, diretamente no evaporador ou nos separadores de líquido. Existem dois tipos de válvula de bóia para sistemas de refrigeração: alta pressão e baixa pressão.

As válvulas de bóia de **Baixa Pressão** contêm um recipiente ligado por alavancas e articulações a uma válvula de agulha. Esta mantém o líquido no evaporador num nível predeterminado. Quando o fluido frigorigéneo é evaporado, o nível de líquido é reduzido fazendo baixar a bóia. A articulação de ligação abre a válvula, facultando a entrada de mais fluido frigorigéneo. Então, quando o nível de líquido sobe até ao ponto pretendido, a bóia é erguida, fechando a válvula de agulha.

Esse tipo de válvula de expansão oferece um controlo satisfatório, mantendo o nível adequado de fluido frigorigéneo independentemente de variações de carga, de períodos sem carga, de condições da carga e outras variáveis de operação. Podem funcionar vários evaporadores no mesmo sistema, pois por cada válvula passa apenas a quantidade de fluido frigorigéneo necessário para o seu próprio evaporador.

As válvulas de bóia de **Alta Pressão** contêm os mesmos elementos que as de baixa pressão: a bóia, a transmissão articulada e a válvula de agulha. A diferença em relação às de baixa pressão reside na sua localização no lado de alta pressão do sistema e no facto de que as válvulas abrem quando o nível de líquido aumenta. São instaladas depois do condensador e transferem o fluido frigorigéneo líquido para o evaporador logo que este seja condensado, mas não permitem a passagem de vapor não condensado. Isto requer que a maior parte da carga de fluido frigorigéneo no sistema esteja localizada no evaporador.

Como as válvulas de bóia de alta pressão normalmente dão passagem a todo o fluido frigorigéneo líquido que chega até elas, não seria possível instalar essas bóias num sistema de evaporador com circuitos múltiplos em paralelo, pois não haveria maneira de assegurar uma distribuição adequada do fluido frigorigéneo.

Válvulas de expansão de pressão constante – Estas válvulas mantêm uma pressão constante na sua saída, inundando mais ou menos o evaporador, em função das mudanças de carga térmica do sistema. A pressão constante característica da válvula resulta da interação de duas forças opostas: da pressão do fluido frigorigéneo no evaporador e da pressão de mola.

A pressão do fluido frigorigéneo exercida sobre um lado do diafragma age para mover a agulha na direção de fecho do orifício da válvula, enquanto a pressão de mola, agindo sobre o lado oposto do diafragma, move a agulha da válvula na direção de abertura do orifício.

É importante observar que as características de operação da válvula de expansão de pressão constante são tais que esta fechará suavemente quando o compressor é desligado e permanecerá fechada até que o compressor volte a ser ligado.

Tubos capilares – São dispositivos de expansão e são normalmente são aplicados em sistemas de refrigeração de pequeno porte. Apresentam como finalidade a redução da pressão do fluido frigorigéneo líquido e a regulação da quantidade da mistura líquido/gás que entrará no evaporador.

Evaporador

Os evaporadores são a parte do sistema de refrigeração onde o fluído frigorigéneo sofre uma mudança de estado, passando da fase líquida para a fase gasosa.

Embora o evaporador seja por vezes um dispositivo muito simples, ele é realmente a parte mais importante do sistema. Qualquer sistema de refrigeração é projectado, instalado e operado com o único fim de retirar calor de alguma substância.

De acordo com a substância ou meio a ser arrefecido, os evaporadores podem ser classificados em: evaporadores para ar, evaporadores para líquidos, e evaporadores de contacto.

Nos **evaporadores para ar**, o fluído frigorigéneo ao vaporizar no interior de tubos, alhetados ou não, arrefece diretamente o ar que escoa pela superfície externa do permutador de calor. O ar frio é então utilizado para arrefecer os produtos contidos numa câmara, balcão frigorífico sala climatizada, etc.

Quanto à circulação do ar, estes evaporadores podem ainda ser classificados em: evaporador com circulação natural e evaporador com circulação forçada.

Nos **evaporadores para líquidos**, o líquido é arrefecido até uma determinada temperatura e então é bombeado para equipamentos remotos, tais como serpentinas de câmaras frigoríficas e serpentinas de fan-coils, onde será utilizado para o arrefecimento de uma outra substância ou meio.

Os principais tipos de evaporadores para líquidos são: de carcaça e tubo (Shell and tube), de carcaça e serpentina e (Shell and coil), de cascata ou Baudelot e evaporadores de placas.

Os **evaporadores de contacto** são normalmente utilizados para o congelamento de produtos sólidos, pastosos ou líquidos. São construídos em chapas de alumínio (liga especial), porém no passado foram utilizados principalmente o cobre e o aço. A sua alimentação pode ser por gravidade, recirculação por bomba ou expansão direta.

O fluido frigorigéneo circula através dos canais, e o produto a congelar é colocado entre as placas. Este tipo de evaporadores pode ainda ser produzido pelo sistema roll-bond, em que são utilizadas duas chapas de alumínio, sobre as quais são impressos canais em grafite com o formato desejado.

2.5.MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Na análise de sistemas de refrigeração, relativamente à sua utilização, condições de operação, conservação e manutenção, de modo a garantir um funcionamento eficiente do sistema, devem ser considerados os seguintes aspetos [30]:

- Níveis de temperatura adotados para as câmaras frigoríficas;
- Tipo e nível de iluminação artificial existente;
- Análise da forma e condições de armazenamento dos produtos nos espaços refrigerados;
- Local de instalação do espaço refrigerado, isto é, instalação próxima de fontes de calor e ou em locais sujeitos a incidência de raios solares;
- Vedação das portas e cortinas;
- Existência de termóstato;
- Inexistência de controlo manual (interruptor) ou automatizado (batente da porta) da iluminação interior dos espaços refrigerados;
- Formação de gelo junto ao evaporador e nas tubagens;
- Condensadores próximos de fontes de calor;
- Presença de impurezas (óleo e/ou poeira) nas alhetas e tubos dos permutadores;
- Falta de proteção em torno da hélice do ventilador do condensador;

- Condensador instalado de modo a dificultar a circulação de ar;
- Conjunto motor/compressor não alinhado e/ou mal fixo à base;
- Fugas de óleo na ponta do eixo, juntas do cabeçote e uniões das tubagens de fluido frigorigéneo;
- Compressor ou central de frio instalada em nível superior ao dos evaporadores.

Recomendações Gerais [30]

- O isolamento é um dos fatores mais importantes no consumo energético num sistema de refrigeração, tanto pela sua influência em relação à entrada de calor no ambiente refrigerado como pela dificuldade que existe em modificá-lo após construído ou colocado. A transferência de calor para dentro da câmara depende da forma e do tamanho das câmaras, que determinam a superfície exterior por metro cúbico interior. Teoricamente, as perdas mínimas são obtidas para formas cúbicas.
- Quanto maior a altura da câmara, maior a relação entre o volume interno e a superfície isolada. Esta altura está limitada pela possibilidade de empilhamento, que, para paletes normais, é de 8 metros. O mesmo é válido para a área da planta da câmara, quanto maior essa área, maior a relação entre o volume interno e a superfície isolada. Uma vez estabelecida a superfície a isolar, os fluxos de calor dependem da natureza e da espessura do isolamento;
- É importante climatizar as antecâmaras existentes na entrada das câmaras de conservação. A entrada de calor e humidade através do ar exterior depende das condições do ambiente externo à entrada. Ao climatizar a antecâmara, a entrada de calor reduz-se para metade e a entrada de humidade reduz-se para um terço em câmaras a -30ºC;
- Empregar sistemas de compressão em estágios com arrefecimento intermediário com separadores de líquido;
- Considerar o aumento da capacidade dos condensadores;
- Permitir que a pressão de condensação seja tão baixa quanto possível. Deve-se observar que em instalações dotadas de válvulas de expansão termostática evita-se reduzir a pressão abaixo de determinado limite por razões práticas de funcionamento da válvula;
- Empregar motores elétricos com controlo de velocidade;
- Dar preferência a instalações de equipamentos centralizados. Existe uma vantagem geral a favor dos equipamentos centralizados, principalmente em sistemas que em determinadas épocas do ano apresentam reduções na quantidade de produtos a

refrigerar. Equipamentos centralizados podem trabalhar com cargas parciais com rendimentos superiores quando comparados aos equipamentos não centralizados;

- Por razões semelhantes, unidades que trabalham com vários condensadores ou evaporadores apresentam funcionamento mais económico que unidades monobloco;
- Considerar a possibilidade de utilizar os horários noturnos para a produção de frio (congelamento de produtos, armazenamento de frio em forma de gelo, salmoura). A utilização de energia elétrica fora do horário de ponta, além de estar favorecida por tarifários reduzidos, contribui para a redução da potência instalada das centrais geradoras;
- No caso de câmaras com diferentes temperaturas, instalar circuitos independentes para cada uma delas;
- Empregar motores elétricos ajustados ao consumo. Os motores sobredimensionados trabalham com baixo rendimento;
- Em sistemas que funcionam de forma sazonal, como armazenamento de frutas, deve-se dispor de um número de compressores com capacidade de suprir a carga de verão e que permitam o funcionamento económico no inverno;
- Verificar o isolamento das tubagens dos equipamentos e câmaras, valorizando a importância da barreira de vapor como possível fonte de perdas;
- As bombas centrífugas devem estar ajustadas às necessidades reais de pressão;
- Em sistemas de bombagem devem-se manter os filtros limpos;
- Caso se disponha de uma central de vapor a alta pressão, deve-se estudar a possibilidade de utilizar turbinas a vapor para o acionamento dos equipamentos do sistema de refrigeração;
- Reparar as fugas de água;
- Empregar um tratamento de água adequado para evitar incrustações nos condensadores;
- Verificar e ajustar periodicamente a purga contínua das torres de refrigeração para evitar a perda de água e produtos químicos;
- Estabelecer um programa de manutenção preventiva;
- Verificar, ajustar e balancear as instalações;
- Verificar frequentemente a calibragem dos dispositivos de controlo;
- Automatizar as instalações de controlo manual;
- Manter os dispositivos de controlo de temperatura longe do alcance de pessoas não autorizadas;
- Em câmaras de conservação, comprovar se os relógios programadores funcionam corretamente e manter os ventiladores parados durante o degelo;

- Empregar a água de condensação para o pré-aquecimento da água utilizada em processos de aquecimento a baixas temperaturas;
- Utilizar a água quente da saída do condensador como fonte de calor para outra instalação.

CAPÍTULO 3

AS INDÚSTRIAS AGROALIMENTARES

3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS AGROALIMENTARES

A Indústria Agro-Alimentar (IAA) assegura a transformação de alimentos e bebidas gerando cerca de 21% do Valor Acrescentado Bruto (VAB) da cadeia de valor alimentar.

A IAA assume uma relevância estratégica no contexto nacional, pela essencialidade dos bens que produz e pelo valor e emprego que gera:

- Das indústrias transformadoras, a IAA é a que mais contribui para a economia nacional em Volume de Negócios (~14.000 M€) e VAB (~3.000 M€);
- A IAA contribui direta e indiretamente para um total de 16% do emprego nacional (~110.000 empregos diretos e ~500.000 indiretos);
- A IAA tem contribuído para o equilíbrio da balança comercial, registando desde 2006 um crescimento das exportações cerca de duas vezes superior ao das importações. [35]

Como referido, a IAA é a indústria transformadora com maior contribuição para a economia nacional em Volume de Negócios e VAB, tal situação pode ser verificada pela figura 35.

A IAA regista o maior peso na indústria transformadora nacional, destacando-se ao nível de VAB e Volume de Negócios. Contribui de forma direta para 4,2% do Volume de Negócios e 3,5% do VAB do país. Estima-se que contribua direta e indiretamente para cerca de 4,5% do PIB nacional.

Figura 35 – Volume de negócios e VAB por indústria transformadora [INE]

A IAA manteve a sustentabilidade da sua produção num contexto económico adverso, sendo a indústria transformadora que mais investe em Portugal [Figura 36].

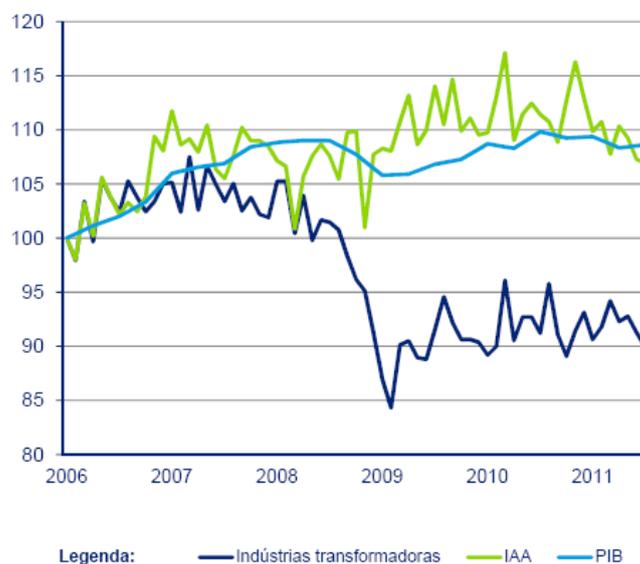



Figura 36 – Índice de evolução da produção das indústrias transformadoras e PIB (2006=100) [Fonte: Eurostat]

A IAA é a segunda indústria transformadora que mais emprega em Portugal, com um tecido empresarial de mais de 10.000 empresas [Figura 37].

A IAA e responsável pela criação direta de ~110.000 postos de trabalho, representando cerca de 2,9% do emprego nacional. Composta por mais de 10.000 empresas, é a terceira indústria transformadora com maior tecido empresarial. [35]

Figura 37 – Pessoal ao serviço da indústria transformadora (Milhares de postos de trabalho activos, 2009) [INE]

A IAA assume relevância no desenvolvimento do tecido empresarial e geração de emprego em zonas menos desenvolvidas do país.

Estima-se que a IAA gere indiretamente cerca de 500 mil empregos, fundamentalmente no sector primário, na distribuição alimentar e em outros sectores de serviços.

A IAA alavanca o emprego regional, promovendo o desenvolvimento da respectiva indústria primária [35].

3.2. A IMPORTÂNCIA DO FRIO NA INDÚSTRIA AGROALIMENTAR

Os principais fatores intrínsecos dos produtos alimentares que afetam o crescimento microbiano são: a atividade da água (aw); a acidez (pH); o potencial de oxidação/redução (Eh); a composição química do alimento; a estrutura biológica do alimento; e as substâncias anti-microbianas naturais presentes no alimento. Por sua vez, os principais fatores extrínsecos dos produtos alimentares que afetam o crescimento microbiano são: a temperatura; a humidade relativa e a composição do meio.

A aplicação dos Regulamentos (CE) n.º 852/2004 e n.º 853/2004, fiscalizada pela Autoridade de Segurança Alimentar e Económica (ASAE - Portugal), exige que os operadores do setor alimentar que realizem qualquer fase da produção, transformação e distribuição de alimentos depois da produção primária e das operações associadas, possuam um sistema de Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos (HACCP – Hazards Analysis and Critical Control Points) desenvolvido pela Comissão do Codex Alimentarius, com o objetivo de manter a inocuidade dos produtos alimentares cumprindo todas as exigências legais neste âmbito. Uma das etapas desta metodologia reside na monitorização da temperatura do ar na zona de conservação dos produtos, assim como na sua temperatura interna e a sua manutenção dentro da adequada gama de temperaturas indispensáveis à segurança alimentar dos produtos. Assim, a análise da temperatura do ar na zona de conservação dos produtos sob distintas condições do ar ambiente é relevante para ir ao encontro das normativas vigentes.

Para produtos como sejam: charcutaria, carnes frescas, legumes e marisco, a humidade relativa (Φcons) elevada é fundamental para assegurar a correta conservação dos produtos em termos de aspeto, paladar e odor. A imposição de um valor de Φcons acima de 75% é essencial para evitar a desidratação do produto, mantendo todas as suas características apelativas. A evaporação da água da superfície dos produtos depende da diferença de pressão do vapor de água, assim como da redução do conteúdo de água com a temperatura. Porém, um dos fatores intrínsecos dos produtos suscetíveis de promover o crescimento microbiológico é a aw, já que as bactérias crescem normalmente em ambientes com muita água disponível. Enquanto que a humidade relativa é a razão entre a pressão do vapor de água no ar e a pressão do vapor de água saturado à mesma

temperatura, a aw é definida como a razão entre a pressão do vapor de água no produto alimentar, pv, e a pressão de vapor de água saturado, pvs, à mesma temperatura. Os valores da aw variam entre 0 (osso seco) e 1 (água saturada). Quando o equilíbrio é atingido, a aw de uma amostra é igual à humidade relativa do ar que envolve a amostra (numa câmara de medição selada ao exterior). Assim, a aw num produto alimentar é igual à humidade relativa de equilíbrio do ambiente. Se o ar em contacto com a amostra possui uma humidade relativa menor que o valor de equilíbrio, a água migra para o ar, aumentando a sua humidade relativa e reduzindo o conteúdo de humidade da amostra, e vice-versa). Deste modo, a humidade relativa influencia diretamente a aw do alimento. Se um alimento com baixa aw está armazenado num ambiente com humidade relativa elevada, a aw deste alimento aumenta, permitindo a multiplicação de microrganismos. A combinação entre humidade relativa e temperatura não pode ser desprezada. Geralmente, quanto maior a temperatura de armazenagem, menor a humidade relativa, e vice-versa.

A maioria das bactérias patogénicas encontra-se controlada quando aw é inferior a 0,85, sendo que a produção de toxinas é, na maioria dos casos, inibida para aw inferior a 0,90. O Staphylococcus aureus é uma excepção, podendo crescer e produzir toxinas em alimentos com aw inferior a 0,90. Deve-se ter em consideração que estes valores são aproximados na medida em que diferentes solutos poderão inibir diferenciadamente o crescimento microbiano em idênticas condições de aw. É de salientar que alguns produtos são embalados, o que dificulta a transferência de calor e de massa entre o ambiente e o produto. Adicionalmente, os produtos alimentares geralmente são embalados em atmosfera modificada. Em ambientes com atmosfera na qual foi alterada a percentagem de dióxido de carbono (CO_2), de ozono (O_3), de oxigénio (O_2), de azoto (N_2) ou de etanol (CH_3 CH_2OH) é possível retardar a multiplicação de microrganismos, sem diminuir a humidade relativa, já que são gases diretamente tóxicos para alguns microrganismos. A oxidação gerada pelo O_3 e pelo O_2 são altamente tóxicas para bactérias anaeróbias e podem ter um efeito inibidor nas bactérias aeróbias dependendo da sua concentração.

Por sua vez, o CO_2 é eficaz relativamente a microrganismos aeróbios, podendo, em concentrações elevadas, inibir outros microrganismos. O efeito do CO_2 tende a aumentar com a diminuição da temperatura e ao dissolver-se no alimento, vai também promover a redução do seu pH. Para produtos cárneos e de charcutaria, as combinações de gases para aplicações em atmosfera modificada, variam entre os valores mínimos e máximos de: CO_2 de 15 a 75%; O_2 de 5 a 80% e de N_2 de 40 a 80% [11].

O pH dos produtos alimentares também influi na progressão do crescimento microbiano. A redução do pH de um alimento contribui para reduzir a capacidade de desenvolvimento microbiano [12].

Na figura 38 encontram-se indicados os valores médios de pH e de aw para cada uma das fileiras agroalimentares seleccionadas: carne e charcutaria (CC), peixe e marisco (PM), leite e derivados (LD), hortofrutícolas (HF), padaria e pastelaria (PP) e ovos (OV).

De salientar que os valores limite de pH e aw em produtos de CC, contemplam desde produtos crus a produtos preparados prontos a comer, enquanto que a fileira agroalimentar de PM inclui peixe, crústaceos e moluscos. Por sua vez, a fileira agroalimentar de HF inclui os vegetais, legumes e frutas. Produtos crus ou frescos de carne, peixe, vegetais, frutas, leite e ovos possuem valores de aw entre 0,98 e 0,99.

Fileira agro-alimentar	pH_{min}	pH_{max}	$a_{w,min}$	$a_{w,max}$
Carne e charcutaria (CC)	4,3	7,0	0,60	0,99
Peixe e marisco (PM)	4,8	7,0	0,98	0,99
Leite e derivados (LD)	3,8	7,4	0,60	0,99
Horto-frutícolas (HF)	1,8	7,3	0,70	0,99
Padaria e pastelaria (PP)	4,4	8,5	0,93	0,97
Ovos (OV)	6,4	9,5	0,98	0,99

Figura 38 – Valores mínimo e máximo dos parâmetros intrínsecos, pH e aw, de produtos de diferentes fileiras agroalimentares [36].

Salienta-se que os produtos alimentares perecíveis são ricos do ponto de vista nutricional e que, na generalidade dos casos, não apresentam ao nível de alguns parâmetros (aw, pH, composição química, estrutura biológica e potencial de oxidação/redução), fatores que constituam barreiras ao desenvolvimento microbiológico tornando-se assim alimentos de alto risco pela probabilidade de conterem microrganismos patogénicos, e por normalmente suportarem o seu crescimento e a formação de toxinas. O tempo de conservação destes produtos é assim limitado. Entre os principais fatores que reduzem o prazo de validade estão a carga microbiana inicial e a temperatura de conservação. A carga microbiológica inicial torna-se num fator preponderante quando a temperatura de conservação não é adequadamente mantida. Um aumento de poucos graus na temperatura pode resultar no crescimento de diferentes tipos de microrganismos, alguns dos quais responsáveis por alterações nas características de qualidade dos produtos, enquanto outros podem ter implicações ao nível da segurança alimentar. Para a maioria dos produtos cárneos a

temperatura crítica acima da qual a segurança dos produtos e a própria qualidade pode ser comprometida é de 5 ºC. O conceito de perigo em alimentos foi definido pela Comissão do Codex Alimentarius como qualquer propriedade biológica, física ou química, que possa tornar um alimento prejudicial para consumo humano. A International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF) detalhou mais em pormenor este conceito, definindo como perigo uma qualquer contaminação ou crescimento inaceitável, ou sobrevivência de bactérias em alimentos que possam afectar a sua inocuidade ou qualidade (deterioração), ou a produção ou persistência de substâncias como toxinas, enzimas ou produtos resultantes do metabolismo microbiano em alimentos. Microrganismos patogénicos como as diferentes espécies de Salmonella, de Shigella, de Escherichia coli, Yersinia enterocolitica, Campylobacter, Aeromonas, Listeria monocytogenes, Bacillus cereus, Clostridium botulinum/perfringens e Staphylococcus aureus, são “frequentemente” encontrados em diversos produtos distribuídos pelas diferentes fileiras agroalimentares. Porém, mesmo que os produtos se encontrem no limiar da temperatura mínima, o seu desenvolvimento não é totalmente impedido, como sucede com o crescimento e formação das toxinas dos agentes patogénicos Yersinia enterocolitica, Bacillus cereus, Listeria monocytogenes e Clostridium botulinum. Para além do crescimento de agentes patogénicos e microrganismos responsáveis pela deterioração dos produtos, é igualmente importante avaliar a actividade enzimática com o aumento da temperatura. Esta actividade pode afectar significativamente a qualidade dos produtos, no que toca à cor, odor e paladar. É importante salientar desde já que os perigos (dados clínicos e epidemiológicos) associados ao crescimento das bactérias patogénicas podem ser reduzidos pela implementação de boas práticas de higiene, diminuição do tempo de armazenamento, respeito estrito pelas temperaturas de refrigeração ou congelação, redução do contacto com o ar (embalamento) e até pela adição de ácidos e conservantes.

Nas últimas décadas, os métodos de avaliação quantitativa do risco microbiológico tornaram-se numa ferramenta de suporte importante ao controlo da segurança alimentar. O uso destes métodos é promovido por organizações internacionais como sejam a World Trade Organization (WTO), o Codex Alimentarius, a World Health Organization (WHO), e a Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), já que disponibilizam uma abordagem estruturada e unificada para problemas complexos, assim como uma base científica em decisões de gestão de riscos. Neste sentido, diversos modelos de previsão do crescimento microbiano e de avaliação de riscos para produtos cárneos têm sido desenvolvidos. Entre estes, destacam-se os recentes modelos de avaliação de riscos baseados na previsão do crescimento da Campylobacter spp. em carne de frango, da Escherichia coli O157:H7 em carne de vaca e do seu crescimento após incubação a

temperaturas de conservação de 2 ºC, 6 ºC e 8 ºC. Para esta bactéria foi também modelado o efeito do tamanho da inoculação e da adaptação ao ácido na interface de crescimento/não crescimento. Também para a carne de vaca foi modelado matematicamente o crescimento da Salmonella para condições isotérmicas de 10 a 45 ºC [36].

3.2.1. Armazenamento

A armazenagem de alimentos tem de ser feita em locais que tenham condições para salvaguardar as qualidades dos alimentos. Nesta etapa os produtos não devem ser expostos a riscos de contaminação, para tal devem ser asseguradas as condições de temperatura e humidade adequadas para cada tipo de alimento.

Para tal trabalho ser feito com o mínimo de risco possível, existem normas e manuais com princípios básicos que devem ser cumpridos. Todas as áreas devem ser limpas e ordenadas, nenhum alimento deve estar em contacto com o chão ou paredes. É importante que todas as zonas tenham um plano de higiene. No procedimento da armazenagem os primeiros produtos a chegar devem ser os primeiros a ser consumidos ou seguirem para comercialização. Deve colocar-se os alimentos embalados, em prateleiras de material lavável, que seja resistente à corrosão e não tóxico e por fim devem estar bem acondicionados. As portas dos armazéns devem estar sempre fechadas, excepto quando se está a executar alguma operação de carga e descarga ou de limpeza. No caso de o armazém ter câmaras frigoríficas de produtos frescos e câmaras de armazenamento de produtos congelados, não se deve ter a porta aberta durante muito tempo pois pode afectar a qualidade e segurança dos produtos alimentares que lá estejam armazenados. Na zona de armazém devem existir protecções contra insectos e roedores. Os alimentos conservados em frio devem ser armazenados de forma a facilitar a passagem do ar frio para que a temperatura seja igual em todos os produtos.

Em concordância com a NP EN 1524:

Produto Fresco: todo o produto que não sofreu qualquer tratamento que possa modificar o seu estado natural, sem excepção da refrigeração.

Produto refrigerado: todo o produto que sofre um arrefecimento sem que seja atingida a temperatura do seu ponto de congelação.

Produto congelado: todo o produto cuja água de constituição fica congelada, atingindo uma temperatura de -10ºC em todos os seus pontos, e que é em seguida mantido a essa temperatura até entrega ao consumidor.

Produto ultracongelado: todo o produto que, depois de ultrapassar rapidamente a zona de cristalização máxima, atinge -18ºC (pode ir formalmente a -25ºC, -30ºC) em todos os seus pontos e até à entrega ao consumidor [37].

As temperaturas recomendadas no armazenamento podem ser:

Quadro 1

Produtos	Δt (ºC)	HR
Carnes	+1 a +3ºC	85 a 90%
Peixes	-1 a +1ºC	85 a 90%
Leite e Derivados	+3 a +5ºC	80 a 90%
Vegetais	+4 a +6ºC	85 a 90%

Figura 39 – Temperaturas e humidades recomendadas no armazenamento [37]

3.2.2. Carnes

A utilização adequada das boas práticas de higiene podem minimizar o crescimento e contaminação bacteriana. Isso envolve a utilização de matérias primas limpas, água e ar limpo, tratamento sanitário, bom controlo de temperatura (refrigeração e congelamento), e escrupulosa limpeza das superfícies em contacto com o produto quando são colocados novos produtos nas mesmas.

Os produtos pré cozinhados apresentam problemas adicionais, devido às condições favoráveis para o crescimento bacteriano, assim que ficam abaixo dos 55ºC.

O crescimento bacteriano não é tão rápido a temperaturas abaixo dos 5ºC, apesar de poderem sobreviver ao congelamento e armazenamento prolongado. Abaixo dos -10ºC as bactérias estão dormentes, algumas células das bactérias morrem durante o

armazenamento, no entanto a actividade das sobreviventes é renovada rapidamente com o aumento da temperatura. O melhor procedimento seria cozinhar os alimentos sem prédescongelamento.

As regras de HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) recomendam que as carcaças de carnes vermelhas e outras variedades de carne devem ser refrigeradas a 5ºC num prazo de 24h, esta temperatura deve ser mantida durante a exposição, armazenamento e transporte dos produtos [38].

Com o auxílio de um sistema de refrigeração o calor é removido da carcaça o mais rápido possível. A rápida redução da temperatura é importante para reduzir o crescimento de microrganismos que existem na superfície da carcaça. As condições de temperatura, humidade e movimento do ar devem ser consideradas para atingir as temperaturas na carne desejadas, dentro do tempo limite, e ao mesmo tempo prevenir o excessivo encolhimento, contaminação óssea e descoloração. A carcaça deve ter sempre uma aparência fresca e luminosa.

Alguns estudos com carne de vaca e porco indicam que a população bacteriana, com arrefecimento convencional ou com pulverização de água fria, não foi afectada pelo método de arrefecimento (Dickson, 1991). Contudo Acuff et al. (1991) mostraram que usando desinfectantes acresce uma redução significante no número de bactérias nas carcaças (0,02% de solução de cloro ou 1 a 3% de ácidos orgânicos).

A temperatura da carne deve ser reduzida rapidamente a -2 a -1ºC para reduzir a deterioração.

Um túnel de refrigeração rápida deve ser concebido, para funcionar com ar a uma temperatura de -30 a -40ºC, com velocidades de ar sobre o produto de 2,5 a 5 m/s. Durante o carregamento inicial a temperatura do ar poderá aumentar para -20ºC. No projecto de unidades de refrigeração rápida, são utilizadas serpentinas com ventiladores axiais para a circulação do ar [39].

3.2.3. Laticínios

Uma indústria de processamento de leite faz a padronização o embalamento e a comercialização dos produtos lácteos. A agitação é essencial para manter a distribuição da

gordura láctea. O leite que está armazenado em grandes tanques é continuamente agitado por uma hélice de velocidade lenta, que é acionada normalmente por um motor elétrico.

Antes da pasteurização, o leite e a nata são padronizados e separados para controlar o conteúdo de matérias gordas dentro dos limites legais. Um meio para obter a quantidade de gordura que se pretende, é adicionar parte da gordura que foi retirada.

Os separadores destinados a separar o leite frio, a cerca de 4,4ºC, têm uma maior capacidade e eficiência à medida que aumenta a temperatura do leite. A capacidade do separador dobra com o aumento da temperatura de 4,4ºC para 32,2ºC. A eficiência máxima é atingida com o leite a cerca de 10ºC ou acima. Os separadores mais utilizados são os de leite quente cerca de 20 a 33ºC. A seguir à separação o leite tem de ser rapidamente refrigerado para cerca de 4,4ºC.

A gama de temperatura que normalmente se utiliza para se proceder a esta operação é de 54 a 82ºC, quanto maior a temperatura neste intervalo menor é a pressão necessária para uma homogeneização satisfatória.

Ao determinar o pico de carga de refrigeração numa câmara frigorífica de secagem de queijo, é preciso ter em consideração que maior produção de queijo pode coincidir com uma maior temperatura ambiente. Para manter a humidade desejada, as unidades de refrigeração para as câmaras de secagem devem ser dimensionadas, de forma a suportar a carga pico de Verão.

No sistema de refrigeração, os ventiladores devem funcionar continuamente. A circulação de ar deve ser apenas a suficiente, de forma a assegurar uma temperatura e humidade constante ao longo de toda a câmara. Correntes devem ser evitada ao máximo, uma vez que, causam uma secagem desigual e consequentes fissuras nos queijos. A unidade de refrigeração deve ser colocada junto à porta da câmara, para refrigerar o ar quente e húmido antes que ele se aloje junto ao tecto, caso contrário, a condensação poderá originar a criação de fungos [39].

3.2.4. Peixes

À semelhança de outros alimentos perecíveis, também o peixe tem um tempo útil de conservação ou tempo de prateleira que varia consoante a sua composição e flora bacteriana natural (ASHRAE, 2006b).

Dos microrganismos mais comuns no peixe e marisco e com maior risco de intoxicação ou doença alimentar destacam-se a salmonela, a shigella a yersiniaenterocolítica, o vibrio, a listeriamonocytogenes, o bacilluscereus e o clostridiumbotulinum (Baptista & Venâncio, 2003).

Segundo dados recolhidos pela ASHRAE (2006), o peixe de água tropical tem maior substancialidade de duração comparativamente ao peixe de água fria, pois a flora bacteriana natural presente no primeiro consiste sobretudo em mesófilos de gram-negativa e no peixe de águas frias em psicrófilos de gram-negativa. A fisionomia de cada microrganismo devido às condições do seu habitat permite tolerar gamas de temperaturas diferentes, verificando-se que os mesófilos têm um crescimento óptimo compreendido entre os 30 e os 45ºC e os psicrófilos dos 12 aos 15ºC (Baptista & Venâncio, 2003). Por essa razão, os psicrófilos têm maior susceptibilidade em resistirem a temperaturas de refrigeração e apresentarem actividade enzimática.

O peixe capturado é imediatamente sujeito a refrigeração para se iniciar a sua cadeia de frio, como citado por Monvoisin (1953) "os produtos sãos deverão ser submetidos e permanecer numa cadeia de frio constante desde o fim do seu ciclo de produção até chegar ao consumidor" evitando contaminação biológica e consequente perda de qualidade.

Porém para as superfícies comerciais, esse período de tempo é bastante significativo, dado o curto período de conservação do peixe comparado com outros produtos, verificando-se um menor stock de produtos devido à sua perecibilidade e maiores custos de refrigeração (requer temperaturas de armazenamento mais baixas) (Nordtvedt & Stevik, 2011).

A conservação de produtos da fileira do peixe através de frio industrial poderá ser classificada por métodos de refrigeração ou de congelação que serão especificados.

3.2.5. Peixe fresco

O peixe fresco tem um período de vida perecível que depende sobretudo das condições de captura, de manuseamento e de armazenamento, tal como a própria qualidade do pescado (Nordtvedt & Stevik, 2011).

O peixe capturado é refrigerado durante 1 a 2 horas e posteriormente embalado em caixas com 25% de gelo, normalmente colocado por baixo para se efectuar a troca de calor entre o peixe e o gelo por convecção térmica efetiva por fusão do gelo (Nordtvedt & Stevik, 2011).

As caixas inicialmente de madeira deixaram de ser utilizadas, pois representavam uma fonte de contaminantes microbiológicos devido à acumulação de resíduos na sua superfície, constituindo um ponto crítico de higiene e segurança alimentar (ASHRAE, 2006b) e (HACCP, 2004).

Métodos de pré-refrigeração desenvolvidos no meio dos anos 80 com o objetivo de contornar os ineficientes rácios de refrigeração e os custos de reposição de gelo, utilizam a água salgada e gelo para a refrigeração do peixe em contentores para baixar a sua temperatura. Neste sentido, métodos de refrigeração por água do mar (RSW- refrigerated sea water) e salmouras com ponto de congelação entre os -5 e os -10ºC constituem estratégias mais económicas para refrigeração de grandes volumes de produção (Magnussen & Nordtvest, 1999).

Segundo a ASHRAE (2006), o período de tempo de prateleira para o peixe fresco capturado na costa Oeste e devidamente acondicionado tem uma perecibilidade de 10 a 15 dias a uma temperatura média de 2ºC.

Na maioria dos casos, as condições para armazenamento de peixe fresco são temperatura de 2ºC e 90% de humidade relativa. A velocidade de circulação do ar deve ser limitada para evitar perdas de gelo, que podem resultar em temperaturas para peixe como o arenque e gerar calor do processo autolítico (ASHRAE, 2006b).

Por definição, processo autolítico resulta da degradação do material proteico do peixe em componentes nitrogenados não-proteicos, com consequente destruição do tecido celular e liquefação do mesmo e responsáveis pelo aparecimento de odores desagradáveis bem como constituintes que alimentam bactérias (Dobrazanski, 2008).

Outros métodos menos convencionais como a super refrigeração ou o método refreshing constituem métodos mais eficazes no prolongamento do tempo útil de conservação, no

entanto devido a custos associados ao processo de refrigeração tornam-se impraticáveis para produção a grande escala.

A super refrigeração é um método que utiliza o mesmo princípio da refrigeração convencional, na qual o fluxo de ar refrigerado entra em contacto com os produtos baixando a sua temperatura, com a excepção que utiliza temperaturas mais baixas mantendo os produtos a uma temperatura compreendida entre os -0.5 e -4ºC.

Esta diferença para muitos produtos resulta em melhorias significativas no processo de refrigeração dos alimentos, observando-se um incremento do período de conservação no caso do bacalhau que pode chegar aos 7 dias comparativamente ao método tradicional [38].

3.2.6. Peixe Congelado

A conservação de peixe por congelação à semelhança do método de conservação por refrigeração utiliza o mesmo processo para a inibição da actividade microbiana por redução da temperatura do peixe, todavia as temperaturas de serviço são bastante mais baixas e as potências de refrigeração maiores, mas o período de conservação dos produtos também é mais significativo. Para temperaturas abaixo do ponto de congelação, a actividade bacteriana é bastante reduzida uma vez que poucos microrganismos toleram essa gama de temperaturas, existindo no entanto índices duma lenta deterioração para peixe congelado com poucas horas de captura e armazenado a -29ºC, podendo atingir uma vida de prateleira superior a um ano (ASHRAE, 2006b). Na figura abaixo encontram-se indicados os tempos médios de conservação de determinadas espécies de peixe congelado para diferentes temperaturas.

Produto	Temperatura (°C)	Vida de prateleira (meses)
Filetes de arenque embalados	-12	4 a 5
	-18	11 a 12
	-29	Mais de 12
Filetes de bacalhau embalados	-12	5
	-18	6
	-23	10 a 11
Filetes de perca embalada	-9	1.5 a 2
	-12	3.5 a 4
	-18	6 a 8
	-23	9 a 10
Linguado inteiro	-12	3
	-18	6
	-23	9
	-29	12
Atum inteiro	-12	4
	-18 a -20	8
	-29	12
Arenque inteiro	-18	6
	-27	9
Filetes de cavala embalados	-9	2
	-18	3
	-23	3 a 5

Figura 40 – Temperaturas de conservação e respectivo tempo médio de prateleira para alguns tipos de peixe congelado (Fonte: ASHRAE, Fishery products, 2006).

Verificar-se que uma grande parte dos produtos é embalada e que o seu material será relevante para a congelação do produto. Este aspecto tem grande relevância para os produtos de peixaria congelados dado que do seu processo existem perdas de humidade significativas, tornando o produto rijo e fibroso durante o tempo de congelação (ASHRAE, 2006b).

Segundo Indergard et al. (2011), os peixes maiores são susceptíveis a maiores perdas de humidade e consequentemente de peso, necessitando assim de um maior tempo de congelação em relação aos mais pequenos.

Por sua vez, para produtos embalados a embalagem deverá ser resistente a óleos e humidade libertados pelo produto assim como respeitar uma espessura máxima que permita a transferência de calor entre o ar refrigerado e o produto.

De acordo com a ASHRAE (2006), o tempo requerido para congelar um produto embalado num congelador de placas é diretamente proporcional ao quadrado da espessura da embalagem.

Comparativamente à refrigeração, a congelação tem a grande vantagem de prolongar significativamente o tempo de prateleira dos produtos de peixaria com o grande inconveniente deste método representar significativos custos económicos para manutenção da cadeia de frio a temperaturas tão baixas [38].

3.2.7 Hortofrutícolas

Os produtos hortofrutícolas englobam um conjunto de produtos agroalimentares do qual fazem parte os vegetais e as frutas comestíveis. Os vegetais tipicamente constituídos por folhas, caules, raízes, tubérculos, bolbos e flores são ricos em hidratos de carbono e o seu pH encontra-se compreendido entre os 5 e os 7. As frutas tal como os vegetais são ricas em hidratos de carbono apresentando valores de pH mais baixos de 4.5 ou inferiores devido a ácidos orgânicos e óleos anti-microbianos essenciais à sua conservação (Ray, 2005).

As fontes de contaminação para os produtos hortofrutícolas dependem fundamentalmente do seu meio de produção, assim como da flora microbiana natural característica desse meio de cultura. De acordo com essa exposição dos produtos a esses ambientes de produção e o tipo são consideradas diferentes condições de armazenamento após a colheita.

Geralmente, os vegetais apresentam valores de unidades de colónias infectantes (UFC) por grama compreendidos entre 104 a 107, sendo mais predominantes as bactérias do tipo ácido lácteo Corynebacterium, Enterobacter, Proteus, Pseudomonas, Micrococcus e Enterococcus. Outros microrganismos como a Listeriamonocytogenes, a Salmonella, a Shigella, a Campylobacter, a Clostridiumbotulinum e a Clostridiumper fringers são comuns em resíduos animais e humanos e águas poluídas usadas na irrigação e fertilização (Ray, 2005).

Por sua vez, nas frutas dos valores das unidades de colónias infectantes são vulgarmente entre 103 a 106 UFC/g, podendo facilmente ser aumentados se não forem tomadas medidas na sua colheita e processamento. Outros microrganismos, em particular as leveduras, têm um papel fundamental na fermentação alcoólica nas frutas (transformação de açúcar em etanol) (Ray, 2005).

Os vegetais frescos são formados por tecidos vivos e necessitam continuamente de O_2 para realizarem a sua respiração celular, como alguns produtos como o açúcar são

transformados em calor durante a respiração, este processo resulta na perda de qualidade e nutricional do produto. A refrigeração como resposta à conservação da sua inocuidade considera essa carga térmica libertada na respiração no durante o seu armazenamento ou transporte, abrandando a sua taxa de respiração e outros processos característicos das plantas (ASHRAE, 2006d).

Essa taxa de respiração varia de produto para produto, por norma é mais frequente em frutos vegetais (pepinos, cebolas) do que um raízes (cenouras), tornando-se por vezes delicado o manuseamento de produtos que respirem com frequência sendo também mais perecíveis (ASHRAE, Vegetables, 2006d).

PERECIBILIDADE RELATIVA	DURAÇÃO POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO (SEMANAS)	PRODUTOS HORTOFRUTÍCOLAS
Muito elevada	< 2	Frutas: Amora, cereja, damasco, figo, framboesa, frutas minimamente processadas, mirtilo, morango. Hortaliças: Alface folhas, brócolo, cebola verde, cogumelos, couve-flor, ervilha, espargo, espinafre, hortaliças minimamente processadas, meloa, milho-doce, rebentos, tomate (maduro).
Elevada	2-4	Frutas: Abacate, ameixa, banana, goiaba, *loquat*, mandarina, manga, nectarina, papaia, pêssego, uva (sem tratamento com SO_2). Hortaliças: Aboborinha *(courgette)*, aipo, alcachofra, alfaces de repolho, berinjela, couve-de-bruxelas, couves-repolho, feijão-verde, melões, pepino-doce, pimento, quiabo, tomate (parcialmente maduro).
Moderada	4-8	Frutas: Diospiro, kiwi, laranja, lima, maçã (algumas cultivares), pêra (algumas cultivares), romã, toranja, uva (tratada com SO_2). Hortaliças: Batata-primor, beterraba-mesa, cenoura, rabanete.
Reduzida	8-16	Frutas: Limão, maçã, pêra. Hortaliças: Abóboras, alho, batata (conservação), batata-doce, cebola, inhame.
Muito reduzida	> 16	Frutas: Amêndoa, avelã, castanha, noz.

Figura 41 – Classificação de produtos hortofrutícolas quanto à sua perecibilidade e longevidade para condições de refrigeração a temperatura e humidade próximos dos óptimos [Fonte: Kadder, 2002]

Como fator depreciativo, a perda de água e o resultante murchamento e enrugamento são características avaliadoras da falta qualidade e frescura destes produtos tornando-os comercialmente menos apelativos. Após a sua colheita deverão ser retirados dos campos e refrigerados ou embalados o quanto antes, de modo a evitar a sua rápida deterioração e envelhecimento (ASHRAE, 2006d).

CULTURA	MÁXIMA PERDA DE ÁGUA ADMISSÍVEL (% DO PESO FRESCO INICIAL)
Feijão-verde	41
Nectarina	21
Aboborinha (*courgette*)	15
Pêssego	11-16
Couves de repolho	7-10
Cebola, aipo	10
Espargo, cenoura (sem folhas), couve-de-bruxelas	8
Couve-flor, beterraba, batata, pimento, milho-doce, agrião, alho francês, maçã	7
Tomate	4-7
Morango	6
Pepino, ervilha-de-quebrar, pêra, uva	5
Alface	3-5
Brócolos, cenoura com folhas	4
Espinafre	3

Figura 42 – Máxima perda de água admissível em alguns produtos hortofrutícolas para comercialização [Fonte: Almeida, 2005]

Porém certos produtos de origem tropical ou subtropical, como é o caso da banana, são sensíveis a temperaturas baixas quando expostos ao frio por determinado período de tempo desenvolvendo danos na sua constituição (Almeida, 2005) e (ASHRAE, 2006a).

Essas temperaturas para as quais ocorre esse fenómeno são designadas por temperaturas críticas superiores ao ponto de congelação desse produto. Na maioria dos vegetais o seu ponto de congelação encontra-se entre os -2.2 e os -0.6ºC, mas para alguns casos a congelação resulta em lesões nos tecidos que provocam o aparecimento de água, assim sendo é desejável evitar a congelação dado que se traduz numa redução do seu tempo de conservação (Parson & Day, 1970).

Na figura abaixo encontram-se as temperaturas críticas para que alguns hortofrutícolas apresentam danos pelo frio e os respectivos danos.

PRODUTO	TEMPERATURA MÍNIMA (ºC)	SINTOMAS
Abacate	4,5-13	Descoloração da polpa (castanho-cinza), escurecimento da casca
Abóbora	10	Susceptibilidade a Alternaria
Ananás	7-10	Verde quando amadurece
Anona	8-10	Escurecimento da pele, descoloração da polpa, vesículas rosa-pálido justo às sementes, amadurecimento anormal
Arando	2	Textura tipo borracha, polpa vermelha
Azeitona	7	Acastanhamento interno
Banana	11,5-13	Cor anormal quando maduras
Batata	3	Acastanhamento, aumento da doçura
Batata-doce	13	*Pitting*, podridões, descoloração interna
Beringela	7	Escaldão, escurecimento das sementes, susceptibilidade a Alternaria
Espargo	0-2	Cor anormal (verde-acinzentado), amolecimento
Feijão verde	7	*Pitting* e manchas acastanhadas
Goiaba	4,5	Polpa danificada, podridão
Laranja	3	*Pitting*, acastanhamento
Lima	7-9	*Pitting*, manchas escuras
Limão	11-13	*Pitting*, manchas avermelhadas
Maçã	2-3	Algumas cultivares. Acastanhamento interno, escaldão
Manga	10-13	Descoloração superficial (acinzentada), amadurecimento anormal
Melancia	4,5	*Pitting*, aroma desagradável
Melão	7-10	Descoloração avermelhada, *pitting*, podridão, amadurecimento anormal
Meloa	2-5	*Pitting*, podridões
Papaia	7	*Pitting*, amadurecimento anormal, aroma atípico, podridões
Pepino	7	Manchas de aspecto aguado, *pitting*, podridão
Pimento	7	*Pitting* susceptibilidade a Alternaria, escurecimento das sementes
Quiabo	7	Descoloração, zonas aspecto aguado, *pitting*, podridão
Romã	4,5	*Pitting*, acastanhamento
Tomate (maduro)	7-10	Aspecto aguado, podridão, amolecimento
Tomate (verde-maturo)	13	Susceptibilidade a Alternaria, amadurecimento anormal
Tomate arbóreo	3-4	*Pitting*, descoloração
Toranja	10	Escaldão, *pitting*, zonas de aspecto aguado

Figura 43 – Temperaturas mínimas de segurança para armazenamento de produtos hortofrutícolas suscetíveis a danos provocados pelo frio [Fonte: Almeida, 2005]

Os danos mecânicos provocados pelo mau manuseamento dos produtos hortofrutícolas também são uma das causas da sua deterioração, dando origem a zonas propícias à entrada de contaminantes por descontinuidade da camada externa protectora [38].

CAPÍTULO 4

SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO USADOS NAS INDÚSTRIAS AGROALIMENTARES

De acordo com as suas características, os principais sistemas de refrigeração usados nas indústrias agroalimentares podem dividir-se nas seguintes categorias:

- Sistemas individuais de produção de frio;
- Unidade de condensação;
- Central de frio de circuito direto;
- Sistemas compactos;
- Central de frio de circuito indireto;
- Unidades de tratamento do ar.

4.1. SISTEMAS INDIVIDUAIS DE PRODUÇÃO DE FRIO

Os principais elementos do sistema são os compressores, os condensadores, os evaporadores e as válvulas de expansão. Os compressores usados são geralmente do tipo alternativos, semi-herméticos e em menor quantidade também se utilizam os compressores abertos. Os condensadores são de tubos e alhetas, arrefecidos a ar (convecção forçada), com o fluxo de ar vertical ou horizontal. Os evaporadores são de tubos e alhetas para arrefecimento de ar e de carcaça e tubos ou de placas para arrefecimento de líquidos ou de tubos lisos em bancos de gelo, e as válvulas são de expansão termostáticas. O tipo de alimentação do evaporador é em geral por expansão direta.

A figura seguinte apresenta um esquema típico de um sistema individual de produção de frio de compressão de vapor por expansão direta.

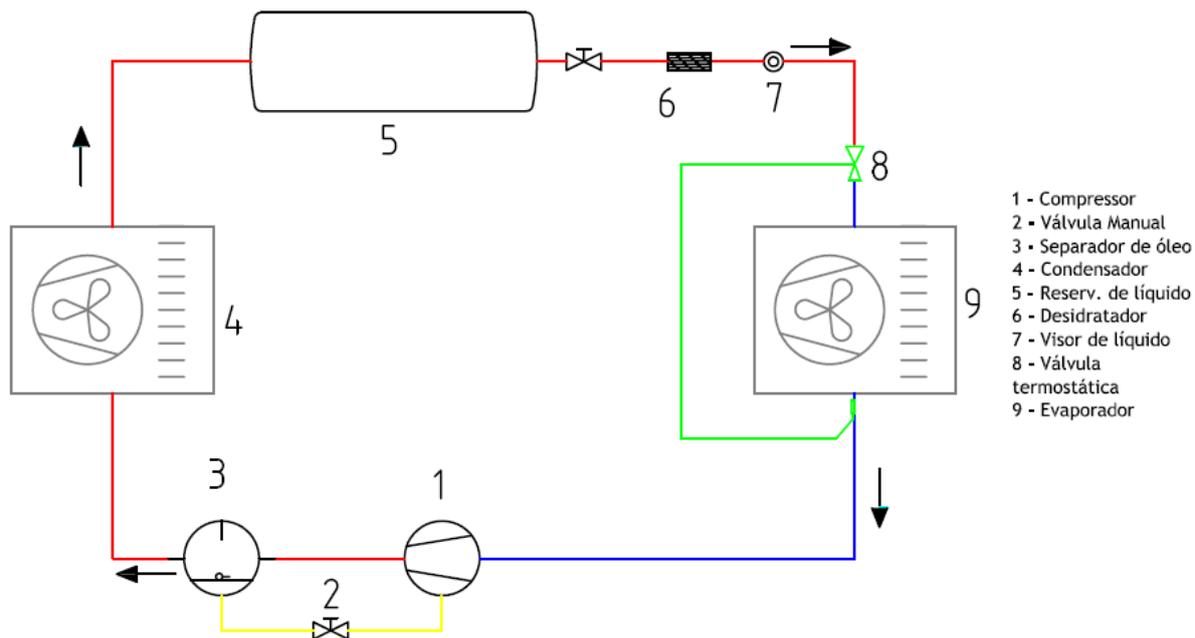



Figura 44 – Sistema individual de produção de frio de compressão mecânica de vapor por expansão direta

Os fluidos utilizados variam com a gama de temperaturas desejadas, destacando-se o R-22 nas instalações de frio mais antigas e o R134A para níveis de temperatura média ou alta e o R-404A para níveis mais baixos de temperatura, nos sistemas mais recentes.

Estes sistemas apresentam uma grande autonomia, independência, flexibilidade, facilidade de gestão e controlo do seu funcionamento e um desempenho energético razoável, mas em contrapartida têm um aumento dos custos de investimento, necessitam de maior espaço para instalação, maior quantidade de fluido frigorigéneo e eventuais fugas, mais manutenção em relação aos sistemas compactos e uma qualidade da instalação frigorífica menos boa.

4.2. UNIDADE DE CONDENSAÇÃO

A unidade de condensação é o equipamento de refrigeração mais vulgarizado a nível mundial. Esta unidade é amplamente utilizada no sector da refrigeração comercial e industrial, em particular nas indústrias alimentares que têm necessidade de pequenas ou

médias potências de refrigeração. A sua ampla aplicação deve-se à sua grande versatilidade, disponibilidade no mercado, funcionalidade, facilidade de instalação e baixo custo.

De acordo com a norma EN13215/2001 a unidade de condensação é um equipamento de refrigeração constituído pela combinação de um ou mais compressores, condensador, recipiente de líquido e acessórios de segurança e controlo. A sua função no sistema de refrigeração é recuperar o vapor proveniente do evaporador e condensá-lo de volta ao estado líquido. A figura seguinte mostra o circuito frigorífico típico da unidade de condensação.

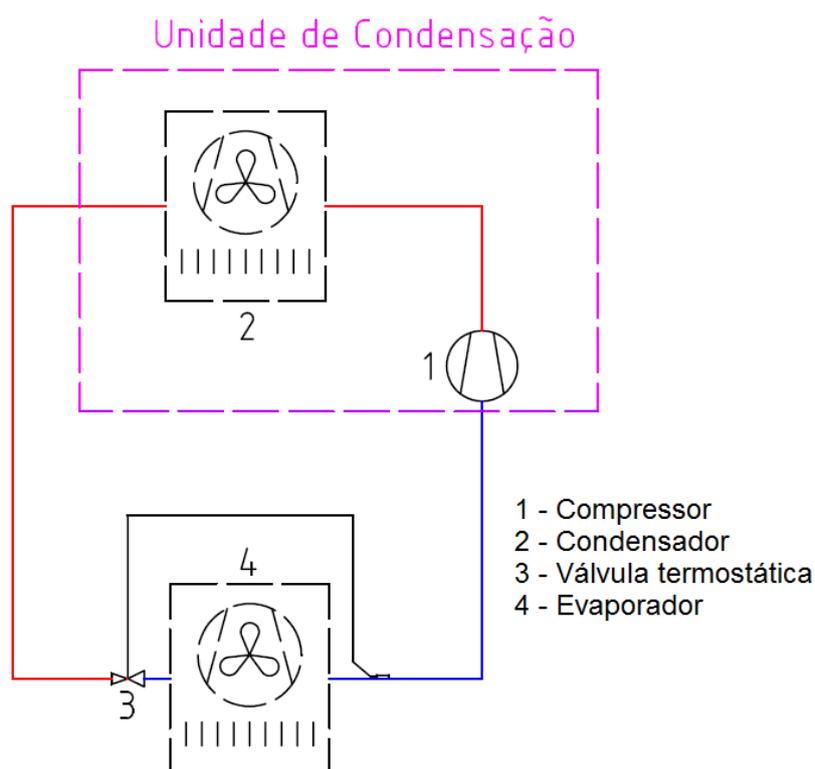



Figura 45 – Esquema do circuito frigorífico da unidade de condensação

O vapor à saída do evaporador é aspirado e comprimido pelo compressor sendo de seguida descarregado na linha de alta pressão (vermelho) e encaminhado para o condensador, onde condensa e segue pela válvula de expansão onde ocorre a queda de pressão e se dirige ao evaporador para dar continuidade ao ciclo termodinâmico.

Em geral, estes equipamentos de refrigeração são instalados no exterior das envolventes das lojas comerciais ou das indústrias, neste caso, fixas às paredes laterais ou ainda nos telhados, desvãos ou no interior de sala de máquinas.

Apesar de poderem usar a água para efectuar a condensação do fluido frigorigéneo, os condensadores geralmente utilizados são arrefecidos a ar e o condensador está quase sempre instalado em frente ao compressor para que o ar aspirado pelos ventiladores seja projectado sobre o mesmo para favorecer o seu arrefecimento. A maioria das unidades possui quase sempre um único compressor alternativo do tipo hermético para pequenas potências frigoríficas ou semi-hermético para maiores potências frigoríficas. Actualmente já existem no mercado unidades de condensação que utilizam o compressor do tipo scroll.

Presentemente, também se encontram no mercado unidades de condensação em formato compacto para aplicações comerciais e industriais, com maiores capacidades de refrigeração.

Segundo UNEP (United Nations Environment Programme - 2011), o fluido frigorigéneo HCFC-22 é o fluido utilizado nas unidades mais antigas, enquanto nos novos equipamentos utiliza-se o HFC-134A, R-404A, R-407C, R-507, R-410 e outras misturas de HCFC e HFC, fluidos HC e o R-744, consoante as gamas de temperaturas de trabalho. Os fluidos frigorigéneos dominantes são o HFC-134A (para temperaturas medias e altas), HCFC-22 e R-404A (para temperaturas baixas).

Para além das vantagens anteriormente referidas, estas unidades são compactas, ocupam pouco espaço, possuem pequenos comprimentos de canalizações, proporcionando pequenas cargas de fluido frigorigéneo e de fugas, baixo ruído, maior qualidade devido à montagem do equipamento ser realizada fábrica, peso reduzido e fáceis de controlar.

Em termos energéticos a unidade condensadora é menos eficiente, comparativamente a um sistema individual ou central de frio bem dimensionado, de forma que a sua escolha é na grande maioria por razões do custo inicial e facilidade de instalação.

4.3. CENTRAL DE FRIO DE CIRCUITO DIRETO

A central de frio de circuito direto consiste num sistema de compressão mecânica de vapor com um único ponto de produção de frio para abastecer todos os postos de alimentação de uma indústria.

O interesse por este tipo de instalação frigorífica comparativamente aos sistemas individuais de produção de frio, está relacionado com a possibilidade de diminuir os custos

de aquisição dos equipamentos, facilidade de manutenção, melhoria da gestão, do controlo e da eficiência energética. Contudo em termos desfavoráveis, a central apresenta um elevado comprimento de canalizações, elevada quantidade de fluido frigorigéneo na instalação, elevadas fugas de fluido para o meio ambiente e custos elevados de reposição de fluido e de manutenção.

Os modernos sistemas centralizados de compressão mecânica de vapor consistem num agrupamento de vários compressores conectados a um colector comum de aspiração e a um colector comum de descarga. Os múltiplos compressores são geralmente montados sobre uma estrutura metálica (Racks), juntamente com diversos equipamentos e acessórios mecânicos e elétricos que são necessários para o funcionamento e controlo dos compressores e restantes elementos da central de frio. Estes equipamentos são geralmente instalados no interior de uma sala de máquinas, localizada na parte de trás ou nas extremidades das infraestruturas da indústria.

Os condensadores mais comuns são arrefecidos a ar, embora também se utilizem com alguma frequência os condensadores evaporativos. Em geral, o condensador é instalado no exterior da sala de máquinas, fixado na parede lateral ou em cima do telhado, sempre a um nível superior ao dos compressores.

Genericamente, a central de frio é composta com vários acessórios destacando-se como os mais importantes os seguintes elementos: separador de óleo com retorno automático, pulmão de óleo, válvulas reguladoras de nível de óleo dos cárteres (bóias), válvula reguladora de pressão do pulmão, pressostatos de alta e baixa, pressostatos diferencial de óleo nos compressores, recipiente de líquido com válvula de serviço, filtro secador tipo recarregável, filtro de sucção em cada compressor, visor de líquido e válvula solenóide. A figura seguinte representa um esquema da central de frio de circuito direto.

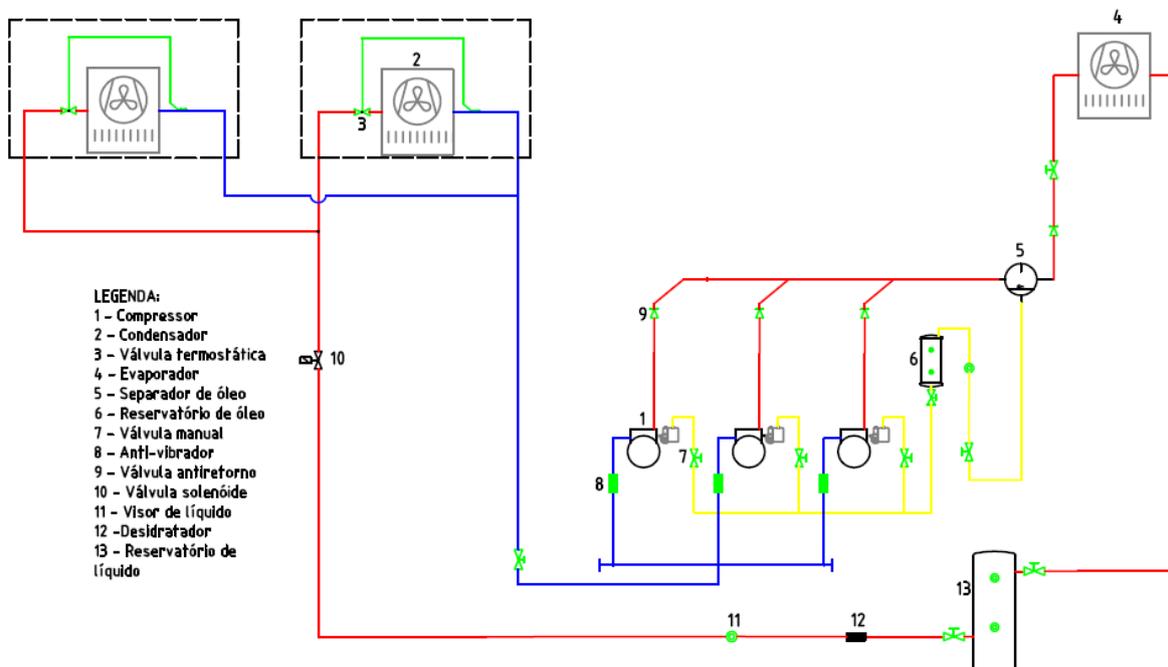



Figura 46 – Esquema da central de frio de circuito direto

O funcionamento da central tem como base o princípio de funcionamento do ciclo teórico de compressão de vapor, ou seja, o vapor saturado ou sobreaquecido proveniente dos postos de alimentação, neste caso evaporadores, é recolhido pela linha de aspiração comum que o conduz ao colector de distribuição de aspiração da central e entra nos compressores onde é comprimido até atingir a pressão de descarga. Depois de comprimido, o vapor no estado sobreaquecido é descarregado pelos vários compressores no colector de descarga e é enviado através da linha de alta pressão ao condensador onde liberta a potência total de calor e condensa, seguindo para o reservatório de líquido comum de onde sai para alimentar novamente os diferentes postos de alimentação e dar início a novo ciclo.

As tubagens ou linhas de líquido e de vapor encontram-se geralmente fixas nas paredes das infraestruturas, no piso, no tecto dos compartimentos ou no interior do desvão.

À semelhança do sistema individual de produção de frio, a central de frio também possui um circuito de óleo que tem como objetivo principal a separação do óleo do fluido frigorigéneo a seguir ao colector de descarga e realizar o seu regresso aos diferentes compressores.

Para que todos os compressores da central possam apresentar um tempo de trabalho idêntico, geralmente é colocado um controlador no sistema que permite efectuar a ligação sequencial dos diferentes compressores.

Em termos de economia de energia a central de frio constituída com vários compressores instalados em paralelo é mais favorável comparativamente à central constituída por um único compressor. Na central de compressor único o carregamento dos motores é inferior a 50% da carga nominal devido a vários fatores de ordem construtiva e funcional fazendo com que em carga, o rendimento dos motores fique sensivelmente prejudicado causando uso excessivo de energia elétrica. Por outro lado nestes sistemas também se observam perdas mecânicas devido à transmissão do movimento ser realizado mediante a utilização de correias, situação que não se verifica no sistema em paralelo. Por outro lado, no sistema em paralelo, efectua-se com maior facilidade a aplicação do uso de inversores de frequência, para controlo da capacidade e arranque dos compressores, favorecendo o sistema. A adopção destas medidas neste tipo de sistema permite alcançar uma eficiência energética de um valor até 25% do consumo energético da correspondente à parcela relativa ao consumo do frio alimentar da empresa.

Os principais tipos de fluidos frigorigéneos usados são o HCFC-22 e o R-502, mas actualmente na Europa está a ser opção o uso de R-404A para baixas temperaturas e o R134A para médias temperaturas. O R-407C foi testado em um número de casos, mas não é considerado uma opção interessante, exceto no Japão, onde existe um mercado específico em aplicações com uma temperatura média mais elevada, geralmente compreendida pela grande extensão de alimentos refrigerados [UNEP - United Nations Environment Programme, 2002].

4.4. SISTEMAS COMPACTOS

No sector alimentar as indústrias utilizam uma grande variedade de sistemas de produção de frio que possuem os seus elementos principais muito próximos entre si, isto é, de forma compacta.

A sua selecção é feita com base em vários parâmetros, dos quais se destaca o tipo de material, espessura e volume das câmaras, o calor específico, densidade, temperatura de entrada e movimentação de produto e ainda a temperatura interior da câmara desejada.

As suas características conferem-lhes um conjunto importante de vantagens, das quais se destaca, uma grande versatilidade, facilidade de selecção, instalação e utilização e bom desempenho energético, e por conseguinte, uma grande aplicação no seio da refrigeração comercial e industrial.

Em função das suas características geométricas, construtivas e de instalação estes sistemas apresentam duas configurações distintas: sistemas compactos ou monobloco (UNI-BLOCK) e sistemas semi-compactos ou partidos (BI-BLOCK).

Segundo Martín (2005) os sistemas compactos (UNI-BLOCK) são equipamentos frigoríficos formados por um único bloco compacto que agrupa a unidade condensadora e evaporadora, juntamente com o quadro elétrico de comando e controlo. Desta forma todos os elementos da instalação de frio, estão reunidos e colocados no interior de um móvel metálico, dispostos de tal forma que a unidade pode funcionar sem mais operações para além daquelas que dizem respeito à sua instalação no local ou espaço que se pretende refrigerar, neste caso, a câmara de refrigeração. Ainda de acordo com as suas características geométricas e forma de instalação, eles são divididos em dois grupos: sistema compacto de parede ou sistema compacto de tecto.

Os sistemas semi-compactos, também designados por partidos (BI-BLOCK) são aqueles em que as suas partes são construídas, conectadas e testadas fora do local onde vão ser instaladas, neste caso na fábrica, e depois são transportadas para o local de instalação em um ou mais blocos, sem necessidade de mais operações de montagem, para além da união mecânica de algumas das suas partes, equipadas com válvulas de segurança.

Neste caso, o sistema compacto é constituído pelos dois blocos (unidade condensadora e evaporadora) que estão ligados entre si através da canalização por onde circula o fluido frigorigéneo. Em função das características do bloco de condensação estes sistemas são geralmente classificados em duas categorias: sistema partido com bloco de condensação horizontal ou sistema partido com bloco de condensação vertical.

Os fluidos frigorigéneos mais usados nos sistemas mais novos são o R134A, 404A, e nos mais antigos ainda é o R22.

As principais aplicações são em câmaras de refrigeração ou de congelação dedicadas à conservação de produtos alimentares e ainda em processos de arrefecimento ou congelamento rápido de produtos perecíveis.

A compactação dos elementos da instalação confere a este tipo de sistemas um conjunto de vantagens em relação às instalações de refrigeração clássicas, das quais podemos destacar uma maior qualidade de construção do sistema, maior facilidade de instalação e manutenção, menores custos de manutenção, redução da extensão de canalizações para circulação do fluido frigorigéneo, redução de fugas de fluido frigorigéneo e aumento da facilidade de detecção das mesmas, diminuição do espaço ocupado, menores custos de investimento e operacionais e melhoria do seu desempenho.

4.5. CENTRAL DE FRIO DE CIRCUITO INDIRETO

Este tipo de sistema de frio utiliza um fluido secundário, por vezes designado por fluido intermédio, para realizar o abaixamento da temperatura do meio ambiente ou material que se pretende refrigerar. Este fluido, depois de previamente arrefecido através de um sistema primário é posteriormente movimentado até aos permutadores de calor onde se realiza a transferência de calor entre este fluido e o referido meio.

Estes sistemas foram desenvolvidos para satisfazerem grandes necessidades de frio e com o intuito da sua produção poder ser obtida em períodos de tempo em que a energia é mais barata e depois poder ser acumulado o frio para ser utilizado nos períodos de tempo em que a energia é mais cara.

Na última década, o interesse por este sistema aumentou acentuadamente, com vista a limitar a carga do fluido frigorigéno primário (qualquer que seja o tipo de fluido) ou para permitir o uso de fluidos designados como perigosos, como seja o amoníaco ou hidrocarbonetos. Com estes sistemas a quantidade de fluido frigorigéneo pode ser reduzida até 40% da carga de fluido frigorigéneo, segundo Kazachki (2006), ou até 85% da carga do sistema convencional (UNEP - United Nations Environment Programme, 2007). A quantidade de amoníaco pode ser um décimo da carga normal de fluido frigorigéneo HFC devido às suas propriedades termodinâmicas (calor latente de vaporização e densidade do liquido). Comparativamente à central de frio de circuito direto, estes sistemas também proporcionam menores volume de condutas, fugas de fluido frigorigéneo primário e trocas de calor entre o fluido e o ambiente, menos válvulas termostáticas (na maioria das vezes existe uma única), podem usar-se sistemas inundados com válvula de flutuação, a temperatura de condensação pode ser ajustada às condições ambientais mais facilmente, não existem perdas de sobreaquecimento nos arrefecedores de ar e são mais eficientes por

se encontrarem com toda a superfície inundada de líquido. Neste sistema são utilizados dois fluidos, um fluido frigorigéneo primário e um fluido secundário que circulam separadamente no circuito primário e secundário, respectivamente. A figura seguinte representa um esquema do funcionamento de uma central de frio de circuito indireto.

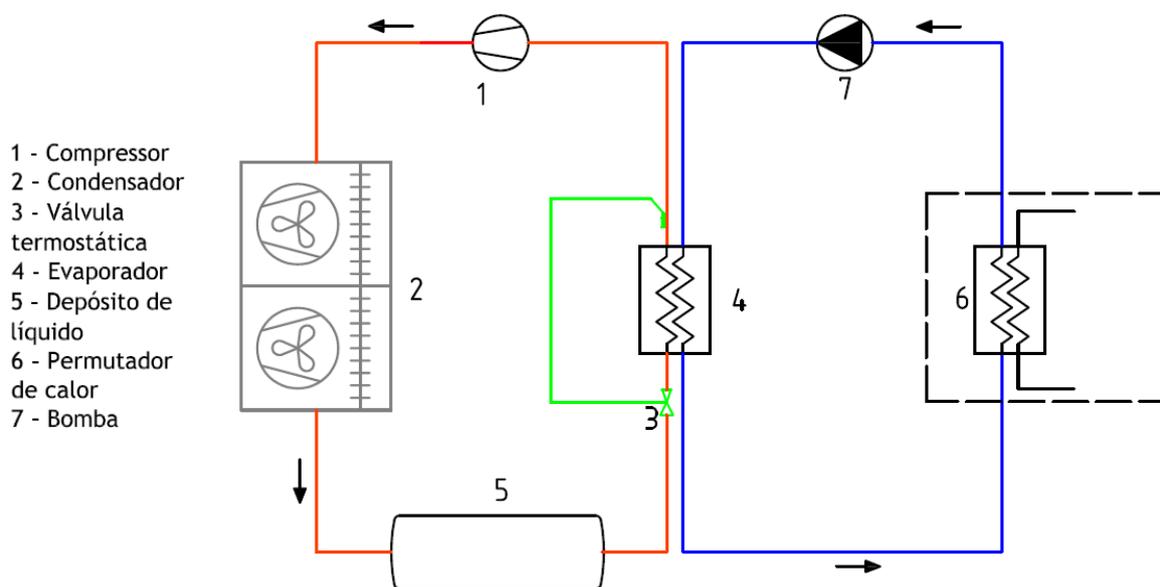



Figura 47 – Central de frio de circuito indireto

O circuito primário é geralmente constituído pelos elementos que compõem o sistema de compressão de vapor clássico. O fluido frigorigéneo percorre este circuito e ao passar no evaporador absorve o calor do fluido secundário que se encontra a uma temperatura mais elevada e vaporiza, provocando o abaixamento da temperatura daquele fluido.

Dependendo da potência frigorífica desejada e da configuração do sistema, o circuito primário pode ser um sistema individual de produção de frio, uma central de frio de circuito direto ou mais recentemente, sistemas compactos (Chillers).

O circuito secundário é constituído pelo conjunto de equipamentos que são responsáveis pela acumulação (caso exista), transporte, distribuição e permuta de calor com o meio a refrigerar. Para além do fluido secundário, os principais equipamentos e acessórios deste circuito são o reservatório de líquido, bombas de circulação, válvulas de segurança e de controlo, condutas de transporte do fluido, permutadores de calor e equipamentos de controlo e segurança. O fluido secundário que é movimentado pelas bombas, circula

geralmente em circuito fechado no interior de condutas e passa nos permutadores de calor para arrefecer o meio que se pretende refrigerar. A diferença de pressão provocada pelas bombas é responsável pelo caudal de fluido que chega aos permutadores de calor, apresentando, em geral valores compatíveis para o uso de tubagens construídas em tubos de plástico ou de materiais metálicos menos dispendiosos, comparativamente aos usados nos sistemas de refrigeração do circuito primário.

A temperatura do meio que se pretende refrigerar é determinada pelo caudal e temperatura do fluido que circula através do permutador de calor, não sendo neste caso, necessário a utilização de válvulas de expansão termostáticas. A temperatura do fluido secundário é controlada pelo circuito primário e o caudal total de fluido secundário que circula pelo sistema e que é determinado pelo número e tamanho das bombas que são postas em funcionamento.

Em função do tipo de construção e do evaporador utilizado para o arrefecimento do fluido secundário, usualmente encontramos duas configurações típicas muito usadas nas indústrias agroalimentares: instalação com evaporador do tipo carcaça e tubo (multitubular) ou de placas e instalação com evaporador do tipo de serpentina de tubos lisos submersa no líquido ou solução, contida no interior de um tanque isolado, com um agitador de fluido (Martín, 2005; Pineda 2001, Alcaraz (1985).

Os fluidos secundários assumem um papel da maior relevância no desempenho deste sistema. Uma vez que são responsáveis pelo arrefecimento do meio que se pretende refrigerar, neste caso são avaliados pela sua capacidade de acumular a energia frigorífica produzida no circuito primário, transporte da energia frigorífica até aos postos de utilização e de a transmitir por contacto direto ou indireto aos produtos ou ao meio ambiente que se pretende refrigerar.

A selecção de um fluido secundário efectua-se em função das aplicações do utilizador mas deverá também satisfazer a várias condições das suas propriedades termofísicas. Em geral, dentro do possível deve transferir grandes quantidades de frio com pouca modificação de temperatura nos permutadores de calor e com um caudal volúmico reduzido.

Os sistemas com fluidos secundários monofásicos utilizam o calor sensível do líquido como energia frigorífica. Nesta categoria os fluidos secundários mais utilizados no campo das indústrias alimentares são a água, salmouras, soluções de potássio e os álcoois. Segundo Martin (2005; PINEDA 2001), a água é um dos melhores fluidos secundários porque não

apresenta inconvenientes em termos de segurança de utilização e sobre o meio ambiente, embora apresente o inconveniente de ter o ponto de congelação muito alto (0ºC).

No caso dos sistemas com fluidos bifásicos, a transferência de energia é realizada por intermédio da variação de entalpia correspondente à mudança de estado físico do fluido. As mudanças de estado consideradas para as temperaturas negativas são a fusão para o fluido secundário bifásico líquido-sólido e a evaporação para o caso do fluido secundário liquido-vapor.

Ainda dentro da categoria dos fluidos bifásicos, nos últimos anos tem vindo a aumentar o interesse pela utilização do dióxido de carbono R-744, por se tratar de um fluido natural e apresentar óptimas propriedades termofísicas. A sua utilização tem sido feita em conjunto com o amoníaco em sistemas de refrigeração em cascata (R-717 e R-744), neste caso o CO2 a funcionar no ciclo de baixa temperatura (ciclo transcritico), para a obtenção de temperaturas inferiores a -40ºC (Cleto, 2007a, Cleto, 2007b), Hinde, 2009, Tassou, 2011).

Trabalhos publicados recentemente dão conta de resultados favoráveis do consumo de energia para os sistemas de refrigeração secundário.

4.6. UNIDADES DE TRATAMENTO DO AR

Em muitas indústrias alimentares são usados secadores ou câmaras de secagem para realizar a operação da secagem ou desidratação dos produtos.

Os secadores tradicionais são constituídos, no essencial por três componentes fundamentais: câmara de secagem, sistema de aquecimento e um sistema de impulsão de ar. Em geral, recorrem à combustão de combustíveis fósseis para obter o calor que é utilizado no processo em conjunto com uma ventilação controlada. Segundo Pereira (2004) estes processos apresentam eficiências muito baixas, geralmente, não superiores a 20%, proporcionando consumos elevados de combustíveis fósseis para obter um calor de baixo nível.

Para além do problema energético, estes secadores também apresentam limitações na obtenção das condições ambientais necessárias para a secagem de produtos delicados, nomeadamente quanto ao controlo da humidade relativa do secador.

Actualmente, os modernos secadores utilizam unidades de tratamento do ar baseadas no princípio da bomba de calor, que são capazes de controlar simultaneamente a temperatura e a humidade relativa do ar.

As bombas de calor são máquinas que têm a capacidade de extrair calor de uma fonte energética natural (ar ou água), ou seja, absorvem energia a baixa temperatura para depois por meio de trabalho fornecido do exterior aumentar a temperatura e ceder a energia que pode ser utilizada num determinado processo. O seu funcionamento é através de um ciclo de compressão de vapor como comummente funcionam os sistemas de refrigeração. Os secadores com bomba de calor permitem um processo energeticamente eficiente, proporcionando calor ao sistema e recuperando-o através do funcionamento interno da bomba de calor [Figura 48].

.

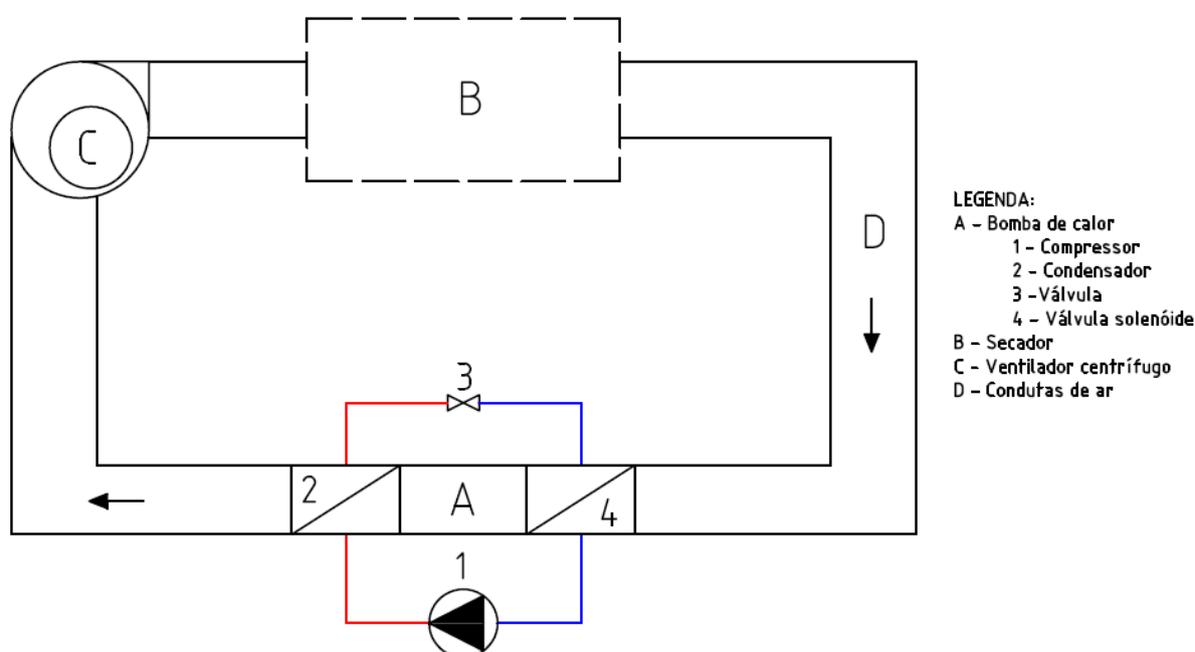



Figura 48 – Secador com bomba de calor

O secador de bomba de calor é constituído por uma câmara de secagem convencional com um sistema de circulação de ar e os habituais componentes de um sistema de refrigeração de ar condicionado. O ar de secagem é desumidificado através do evaporador (secção de refrigeração do ciclo de refrigeração) e reaquecido pelo condensador da bomba de calor. O máximo da temperatura de secagem é determinado pela temperatura de condensação do fluido frigorigéneo utilizado.

Estes secadores apresentam uma elevada eficiência energética, têm a possibilidade de realizar a secagem a temperaturas relativamente baixas e independente das condições meteorológicas do ambiente, permitem a obtenção de melhor qualidade do produto mediante o controlo da temperatura e da humidade relativa. Contudo, apresentam a seu desfavor o uso de fluidos frigorigéneos do tipo CFC, no ciclo de refrigeração, uma maior manutenção dos elementos do sistema, necessidade de maior controlo do processo e desenho do projecto, e têm as temperaturas de secagem como fator limitante do processo e actualmente o aumento dos custos de funcionamento em resultado do aumento do preço da eletricidade.

Atendendo ao elevado desempenho, estes secadores são os mais usados pelas indústrias das fileiras da carne e dos lacticínios para realizar a fermentação, maturação, secagem e estufagem dos produtos alimentares, durante os seus processos produtivos (Perera and Rahman, 1997).

A unidade de tratamento de ar ou bomba de calor aparece como o principal elemento destes secadores uma vez que é responsável pela evolução das propriedades termodinâmicas do ar por forma a garantir a manutenção da sua capacidade tecnológica para realizar a desidratação e secagem dos produtos.

Em função da capacidade de secagem, as unidades são classificadas em duas categorias: unidades de secagem de grande potência e mini-unidades de secagem. Estas duas categorias de equipamentos diferem entre si pelas suas dimensões físicas, modo de instalação, tipo de baterias de arrefecimento e aquecimento e capacidades de secagem.

CAPÍTULO 5

CASOS DE ESTUDO

No presente relatório foram consideradas 6 fileiras distintas: Distribuição, Hortofrutícolas, Laticínios, Carnes, Peixes e Vinhos.

Para melhor caracterizar o estado da arte do setor do frio em cada fileira efetuou-se um estudo em 36 empresas (6 de cada fileira). Para este efeito foram efetuadas várias visitas a todas as empresas de modo a reunir a informação necessária para avaliação do referido estado da arte. Como tal, a informação que se segue, referente a cada fileira, tem como base dados recolhidos através de um modelo, a informação recolhida através de fotografias e visitas às instalações, e completam-se com a ajuda do INE (Instituto Nacional de Estatística).

5.1. FILEIRA DA DISTRIBUIÇÃO

Características das Instalações

A amostra das indústrias de distribuição analisada é caracterizada por um número médio de câmaras frigoríficas igual a 3. O seu volume médio por câmara é de 161 m^3. Mais de metade dos espaços refrigerados analisados têm um volume até 150 m^3, sendo o maior espaço composto por 550 m^3 [Figura 49], e o volume total das câmaras das 6 empresas é de aproximadamente 2 889 m^3.

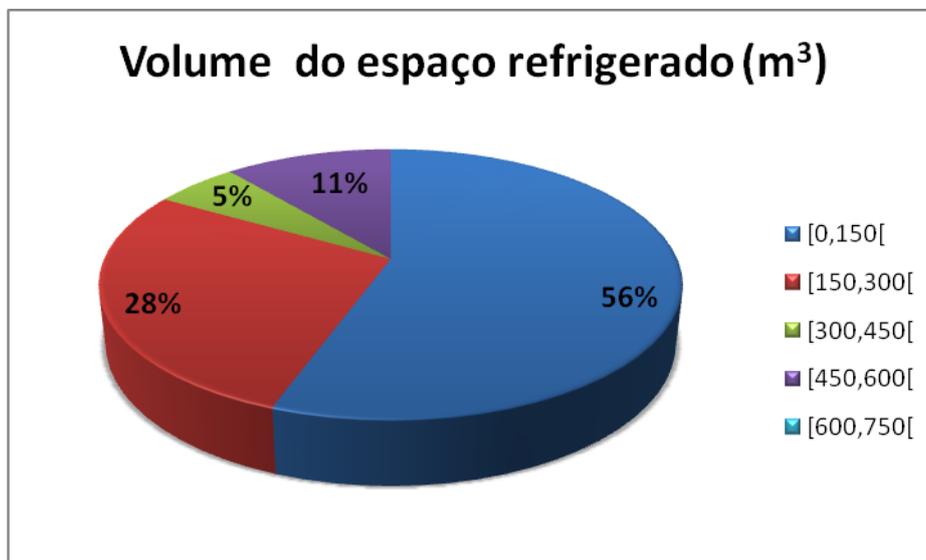



Figura 49 – Distribuição do volume do espaço refrigerado por classes, em m^3

A maioria das empresas têm as suas câmaras construídas em painel sandwich, embora ainda existam algumas (mas em menor número) construídas em alvenaria com revestimento [Figura 50].

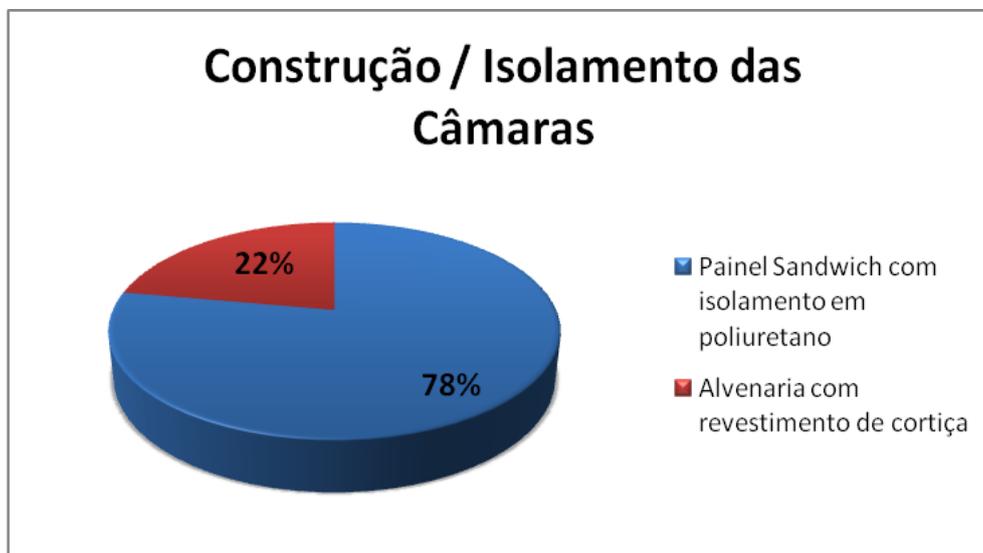



Figura 50 – Tipo de construção/isolamento das câmaras frigoríficas

Tipos de sistemas de refrigeração

Em todas as empresas analisadas, os sistemas de refrigeração presentes são unidades individuais de expansão direta.

Tipos de compressores

Nas indústrias visitadas desta fileira, 100% dos compressores visualizados são do tipo alternativos semi-herméticos.

Tipo de fluido frigorigéneo

Em todas as empresas visitadas desta fileira, o fluido frigorigéneo presente nas máquinas frigoríficas é do tipo R22.

5.2. FILEIRA DOS HORTOFRUTÍCOLAS

O quadro seguinte mostra as principais culturas hortofrutícolas cultivadas entre os anos de 2009 a 2011.

Portugal 2009 - 2011

Culturas \ Anos	Superfície			Produção		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
	ha			t		
CULTURAS TEMPORÁRIAS						
Cereais						
Trigo mole	61 963	48 610	39 628	103 766	66 963	47 096
Trigo duro	11 029	9 117	2 868	20 379	15 615	3 907
Milho	94 727	90 371	99 983	634 069	626 222	831 706
Centeio	20 558	20 441	19 719	19 444	17 553	18 388
Triticale	23 846	24 487	20 485	35 290	25 871	23 492
Arroz	28 470	29 120	31 436	161 761	170 216	184 087
Aveia	58 447	61 748	52 351	70 716	66 145	48 255
Cevada	40 859	20 224	16 627	72 799	30 620	21 000
Leguminosas para grão						
Feijão	3 559 Rv	3 509	3 511	2 009 Rv	2 042	2 058
Grão-de-bico	1 110	1 074	1 010	608	605	680
Batata						
Batata	28 450	25 531	26 501	467 807	383 835	389 800
Culturas para a indústria						
Tomate	16 783	16 640	15 359	1 346 084	1 406 084	1 150 827
Girassol	21 346	14 003	22 418	11 456	7 611	12 572
CULTURAS PERMANENTES						
Laranja	16 224	16 303	16 374	183 471	193 885	228 101
Maçã	12 565	12 450	12 539	263 146	212 902	247 229
Pêra	11 015	10 954	10 971	200 040	176 764	230 447
Pêssego	3 651	3 711	3 711	40 040	33 000	34 520
Vinho (a)	178 783 Rv	177 661 Rv	176 988 Po	5 711	6 961	5 466 Po
Azeitona para Azeite	336 566	335 586	338 048	414 687	435 009	497 440 Po

Notas: as produções de azeite e laranja correspondem às iniciadas no ano agrícola indicado e continuadas no ano seguinte. Fi

Figura 51 – Produção das principais culturas [Fonte: INE]

Características das Instalações

A amostra das indústrias de distribuição analisada é caracterizada por um número médio de câmaras frigoríficas igual a 3. O seu volume médio por câmara é de 278 m^3. Mais de metade dos espaços refrigerados analisados têm um volume compreendido entre 150 e 300 m^3, sendo o maior espaço composto por 744 m^3 [Figura 52], e o volume total das câmaras das 6 empresas é de aproximadamente 5 000 m^3.

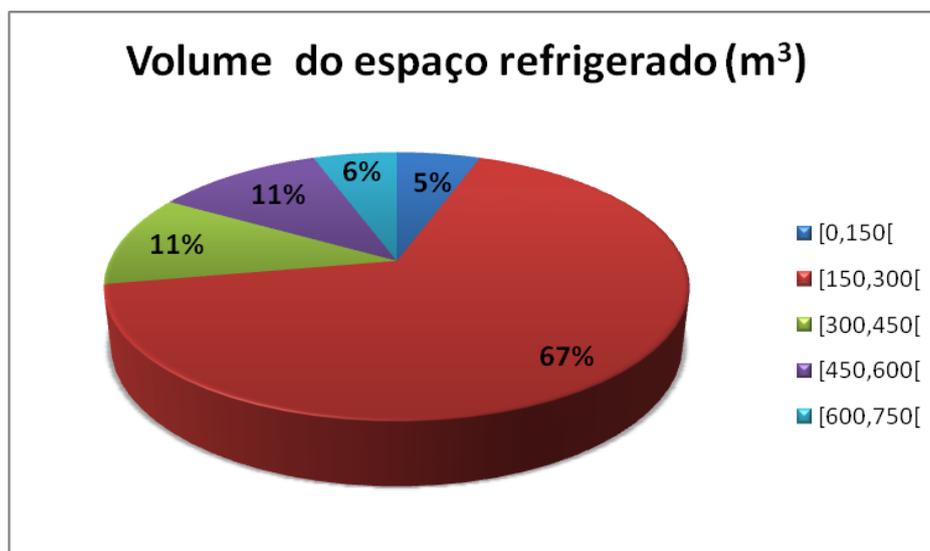



Figura 52 – Distribuição do volume do espaço refrigerado por classes, em m^3

Grande parte das indústrias tem as suas câmaras construídas em painel sandwich, e apenas uma pequena percentagem das câmaras são construídas em alvenaria com revestimento seja significativa [Figura 53].

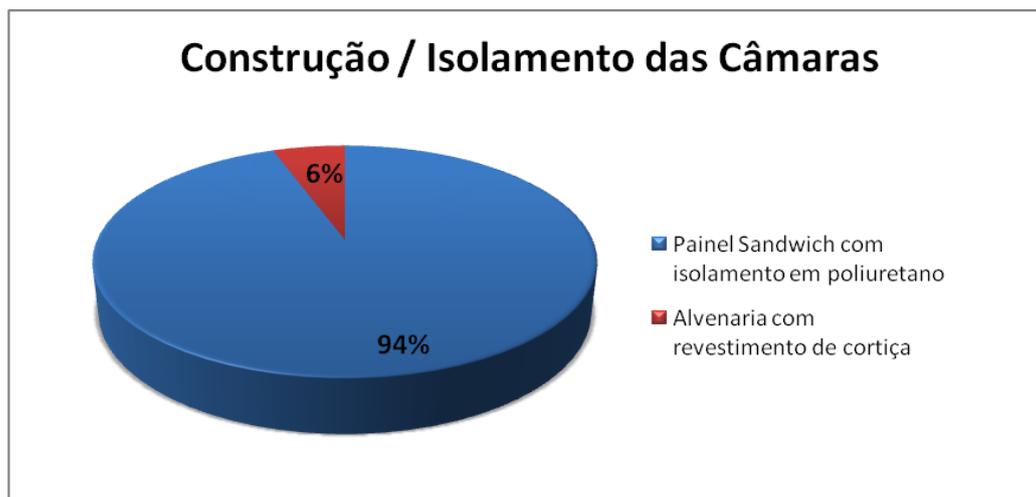
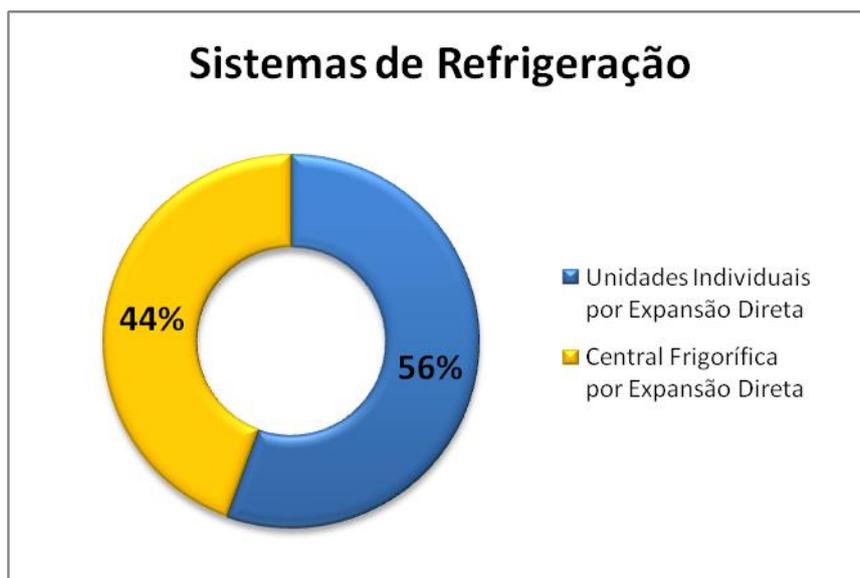



Figura 53 – Tipo de construção/isolamento das câmaras frigoríficas

Tipos de sistemas de refrigeração

Nas empresas analisadas verificou-se que cerca de 56% dos sistemas verificados são unidades individuais de expansão direta.

Tipos de compressores

Nas indústrias visitadas desta fileira, 100% dos compressores visualizados são do tipo alternativos semi-herméticos.

Tipo de fluido frigorigéneo

Em todas as empresas visitadas desta fileira, o fluido frigorigéneo presente nas máquinas frigoríficas é do tipo R22.

5.3. FILEIRA DOS VINHOS

A figura seguinte mostra a produção vinícola declarada no ano 2011.

Portugal — Unidade: hl — 2011 Po

Qualidade e cor / NUTS II	Total			Vinho licoroso com DOP			Vinho com DOP		
	Total	Branco	Tinto e rosado	Total licoroso	Branco	Tinto e rosado	Total	Branco	Tinto e rosado
Portugal	**5 466 258**	**1 613 307**	**3 852 951**	**539 505**	**138 177**	**401 328**	**2 121 155**	**821 786**	**1 299 370**
Continente	**5 420 933**	**1 610 684**	**3 810 249**	**507 445**	**136 745**	**370 701**	**2 119 926**	**821 387**	**1 298 539**
Norte	**2 139 776**	870 795	1 268 981	489 684	124 066	365 618	1 208 091	638 271	569 820
Centro	**1 529 961**	317 322	1 212 639	6 433	2 339	4 094	379 984	79 224	300 760
Lisboa	**418 739**	99 661	319 078	10 884	9 987	897	75 379	12 663	62 716
Alentejo	**1 319 319**	321 607	997 712	445	352	92	453 702	91 023	362 680
Algarve	**13 139**	1 300	11 839	0	0	0	2 770	207	2 563
Açores	**11 018**	**2 155**	**8 864**	**1 433**	**1 433**	**0**	**112**	**112**	**0**
Madeira	**34 306**	**468**	**33 839**	**30 627**	**0**	**30 627**	**1 118**	**286**	**831**

Qualidade e cor / NUTS II	Vinho com IGP (a)			Vinho com indicação de casta (a)			Vinho sem certificação (a)		
	Total	Branco	Tinto e rosado	Total	Branco	Tinto e rosado	Total	Branco	Tinto e rosado
Portugal	**1 285 310**	**286 008**	**999 302**	**27 819**	**9 676**	**18 143**	**1 492 468**	**357 659**	**1 134 809**
Continente	**1 283 575**	**285 539**	**998 037**	**27 819**	**9 676**	**18 143**	**1 482 168**	**357 338**	**1 124 830**
Norte	84 539	36 007	48 532	435	0	435	357 028	72 451	284 576
Centro	356 423	69 004	287 419	17 987	858	17 128	769 134	165 897	603 237
Lisboa	172 190	52 732	119 458	2 368	2 368	0	157 918	21 911	136 008
Alentejo	665 169	126 887	538 282	7 030	6 450	580	192 973	96 894	96 079
Algarve	5 254	908	4 346	0	0	0	5 115	185	4 930
Açores	**1 568**	**401**	**1 167**	**0**	**0**	**0**	**7 905**	**209**	**7 696**
Madeira	**167**	**69**	**97**	**0**	**0**	**0**	**2 395**	**112**	**2 283**

Fonte: Instituto da Vinha e do Vinho (IVV).
(a) Inclui os vinhos licorosos.

Figura 55 – Produção vinícola declarada, expressa em mosto, por NUTS II [Fonte: INE]

Características das Instalações

As instalações vinícolas visitadas, para refrigeração do produto, utilizam cubas de inox.

Processo produtivo

A figura seguinte representa um fluxograma generalizado do processo de fabrico dos vinhos.

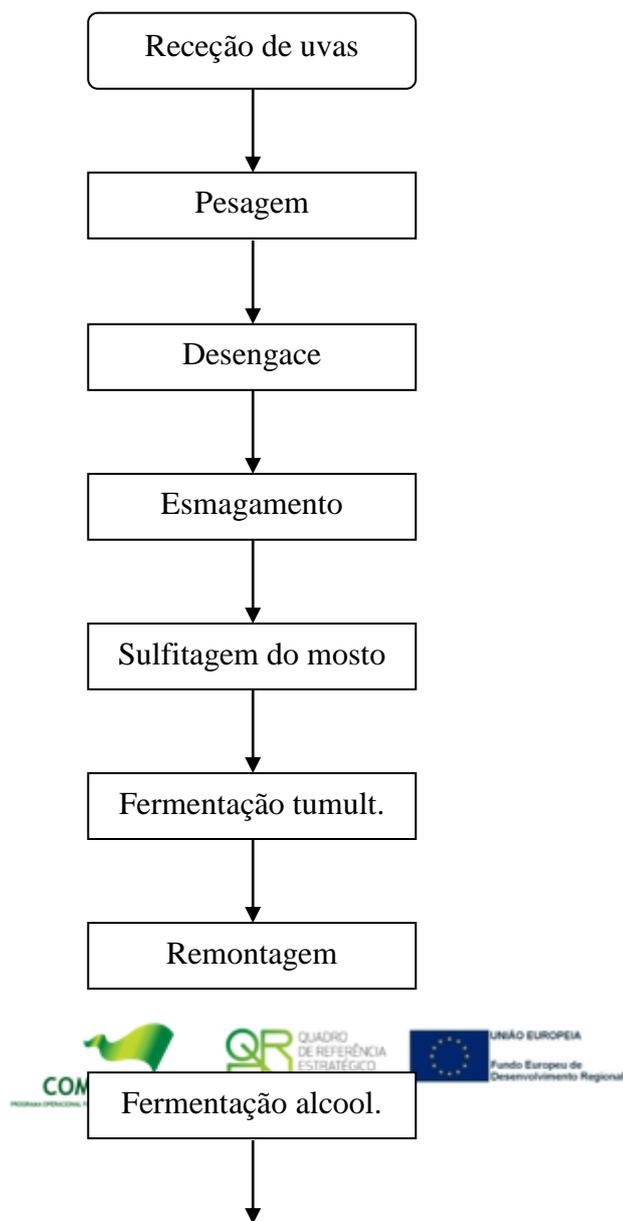



Figura 56 – Fluxograma do processo produtivo do vinho

Tipos de sistemas de refrigeração

Nas empresas analisadas verificou-se que, na totalidade da amostra, a refrigeração é conseguida através de circuito indireto.

Tipos de compressores

Nas indústrias visitadas desta fileira, 100% dos compressores visualizados são do tipo alternativos semi-herméticos.

Tipo de fluido frigorigéneo

Nas empresas visitadas, em 3 delas o fluido frigorigéneo presente é do tipo R22, e nas restantes 3 é do tipo R404A.

5.4. FILEIRA DAS CARNES

Em 2011 a produção de carne de bovino atingiu as 96 mil toneladas, o que reflete um aumento de 3,1% em relação a 2010. O acréscimo foi sobretudo registado na carne de vitelo (+13,1%), em resultado de uma maior procura no mercado nacional, por parte de uma cadeia de distribuição, de animais mais jovens (até aos 8 meses). A produção de carne de bovinos adultos teve praticamente uma manutenção (+0,3%), apesar do maior número de novilhos e de vacas abatidos.

Para este aumento e para além da pressão exercida pelo mercado interno, destaca-se a situação deficitária de animais para abate e de carne na Europa, devido às exportações de animais vivos para países terceiros, principalmente para a Rússia, Turquia e Líbano. Este fluxo provocou uma subida de preços na Europa, tornando a carne nacional mais competitiva.

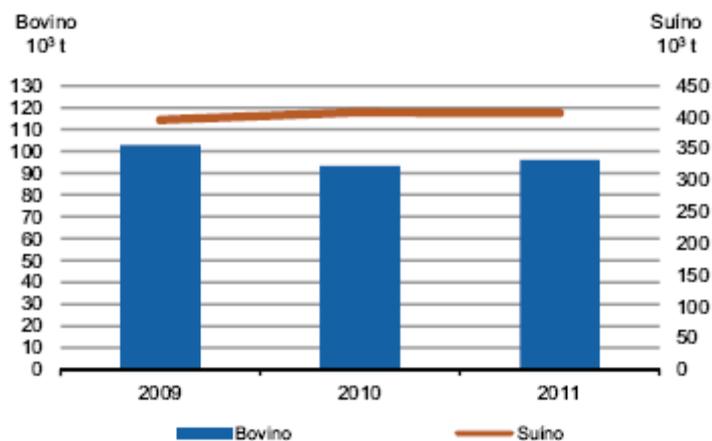



Figura 57 – Produção de carne de bovino e de suíno

A estes factos há ainda que acrescentar a concentração dos abates de vacas devido à alteração das regras do período de retenção ao prémio de vacas aleitantes e o final do

prémio ao abate em 2011, que levou alguns produtores a abater os seus animais antes do final do ano.

A conjuntura de crise económica nacional e internacional, bem como as exigências da UE (bem-estar animal) e a especulação no mercado de cereais, levou à estagnação da produção da carne de suíno que com 407 mil toneladas, teve uma variação negativa de apenas 0,2%, comparativamente a 2010. Os principais problemas que o setor e a fileira de carne de suíno nacional atravessam resultam, fundamentalmente, da dependência e da vulnerabilidade no aprovisionamento de matérias-primas, em particular de cereais e da forte dependência de matérias-primas produzidas em países terceiros (nomeadamente a soja).

A volatilidade dos mercados aliada à especulação, gerou um aumento dos preços das principais matérias primas, e em consequência, o preço dos alimentos compostos para animais (que representam mais de 2/3 dos custos de produção neste setor) subiu 30 a 40%, sem que os produtores tivessem conseguido refletir este aumento no preço do produto final. Aliada a esta situação, estão as dificuldades de financiamento por parte das explorações, resultando numa falência inevitável de muitas delas.

Outros fatores, como o desaparecimento do mercado tradicional, o baixo volume de exportação e as medidas no âmbito do licenciamento, do bem-estar animal e das condições sanitárias das explorações (REAP; Estatuto sanitário relacionado com o Plano de Controlo e Erradicação da Doença de Aujeszky- PCEDA; as taxas do SIRCA etc.) acarretaram encargos e dificuldades acrescidas aos produtores nacionais, condicionando as possibilidades de progressão daqueles que se mantêm em atividade.

Em 2011 a espécie ovina, apresentou uma pequena variação da produção (-0,5%) e no que respeita aos caprinos, registou-se uma descida de 3,8%, comparativamente ao ano anterior, com produções de 18 mil toneladas e 1,4 mil toneladas, respetivamente.

No mercado de ovinos e caprinos, o número de explorações e os efetivos baixaram, tendo-se constatado um decréscimo de animais candidatos aos prémios específicos. O consumo também decresceu, sobretudo pelo facto das gerações mais novas da população não serem muito apreciadoras das carnes de ovino e caprino, e para além disso, o seu preço face ao da carne de porco e de aves, numa conjuntura de crise, ser nitidamente desfavorável.

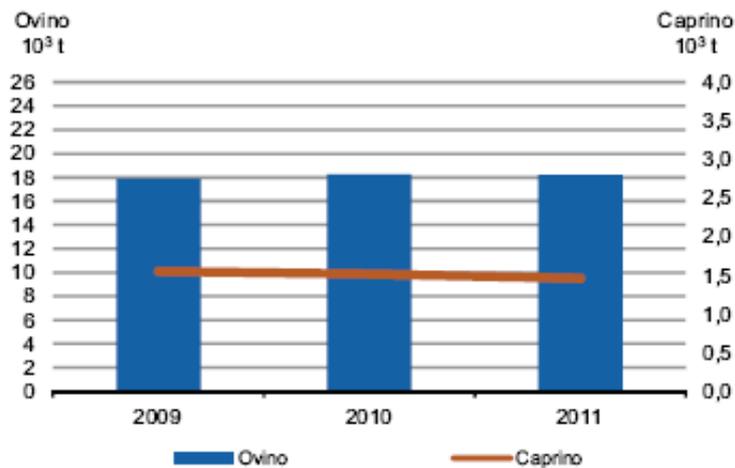



Figura 58 – Produção de carne de ovino e de caprino

Características das Instalações

A amostra das indústrias das carnes analisada é caracterizada por um número médio de câmaras frigoríficas igual a 11.

O seu volume médio por câmara é de 279 m^3. A maioria dos espaços refrigerados analisados têm um volume compreendido entre 150 e 300 m^3, sendo o maior espaço composto por 872 m^3 [Figura 59], e o volume total das câmaras das 6 empresas é de aproximadamente 17 584 m^3.

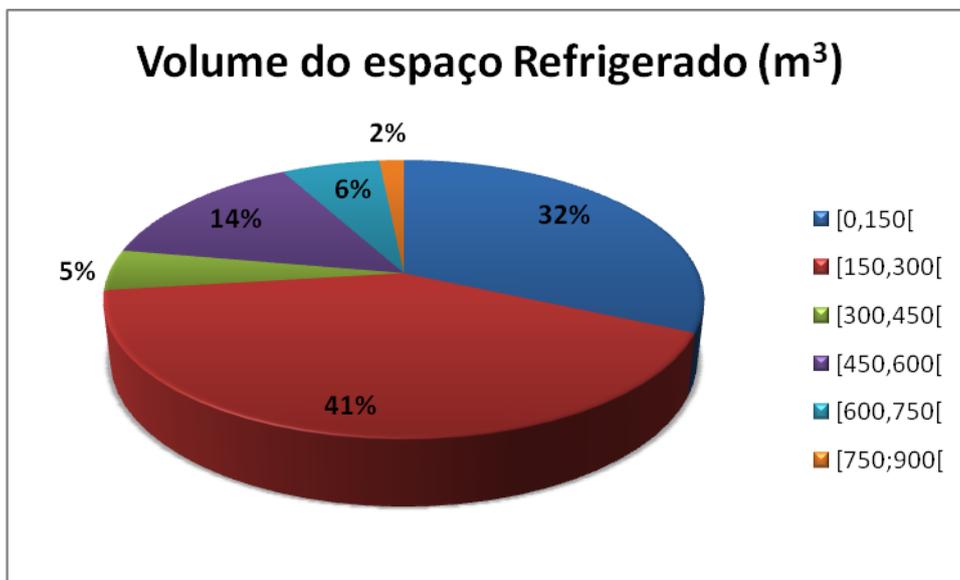



Figura 59 – Distribuição do volume do espaço refrigerado por classes, em m^3

Grande parte das indústrias tem as suas câmaras construídas em painel sandwich, embora a percentagem das câmaras que são construídas em alvenaria com revestimento seja significativa [Figura 60].

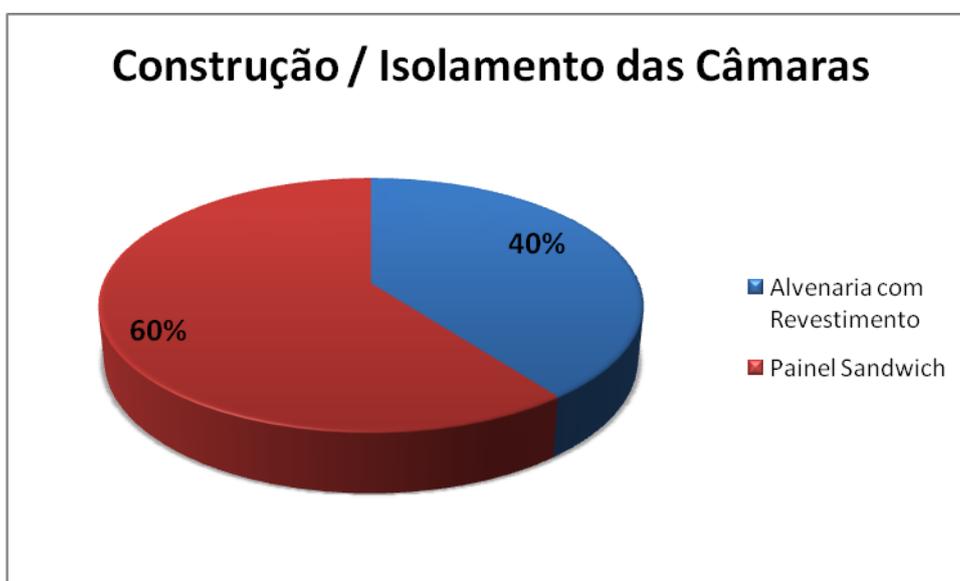



Figura 60 – Tipo de construção/isolamento das câmaras frigoríficas

Processo produtivo

No universo das indústrias analisadas distinguem-se 2 tipos de processos produtivos: fabrico de enchidos e fabrico de presuntos. As figuras seguintes representam um esquema generalizado desses processos produtivos.

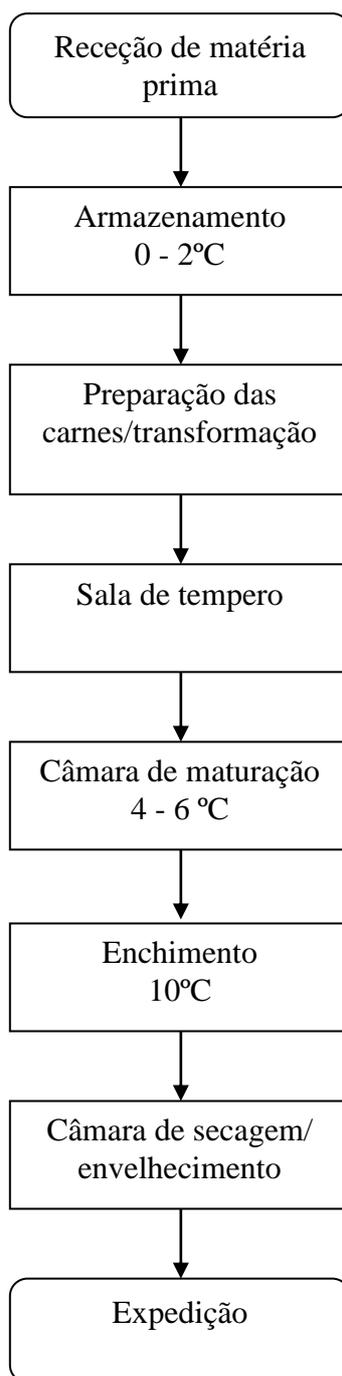



Figura 61 – Fluxograma do processo produtivo dos enchidos

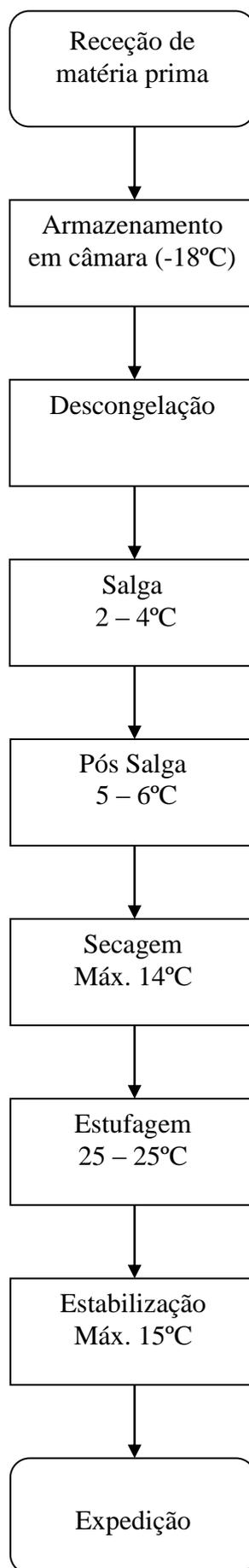



Figura 62 – Fluxograma do processo produtivo do presunto

Tipos de sistemas de refrigeração

Nas empresas analisadas verificou-se que os sistemas utilizados na fileira das carnes são bastante variados.

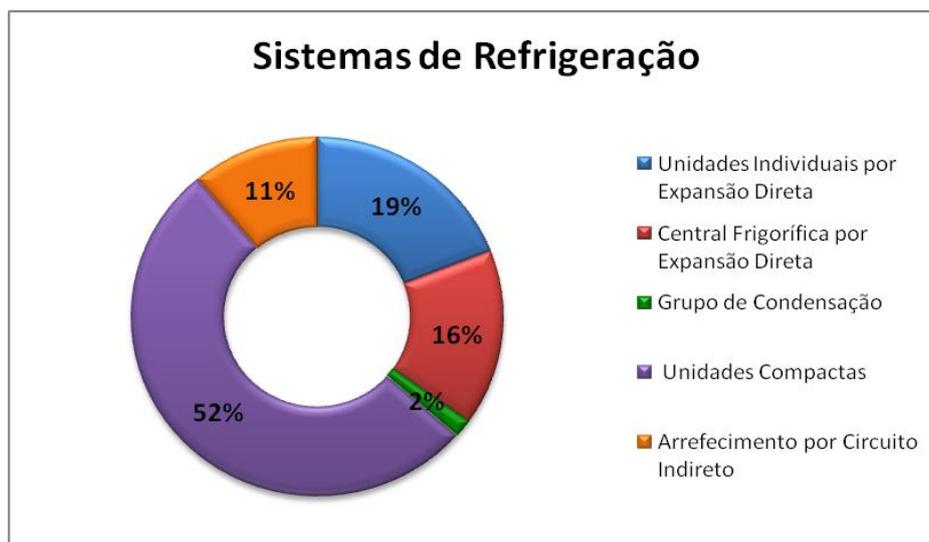



Figura 63 – Tipo de sistema de refrigeração

Tipos de compressores

Na análise ao tipo de compressores utilizados nas empresas analisadas na fileira das carnes, verificou-se que a maioria dos compressores são do tipo alternativos semi-herméticos [Figura 64].

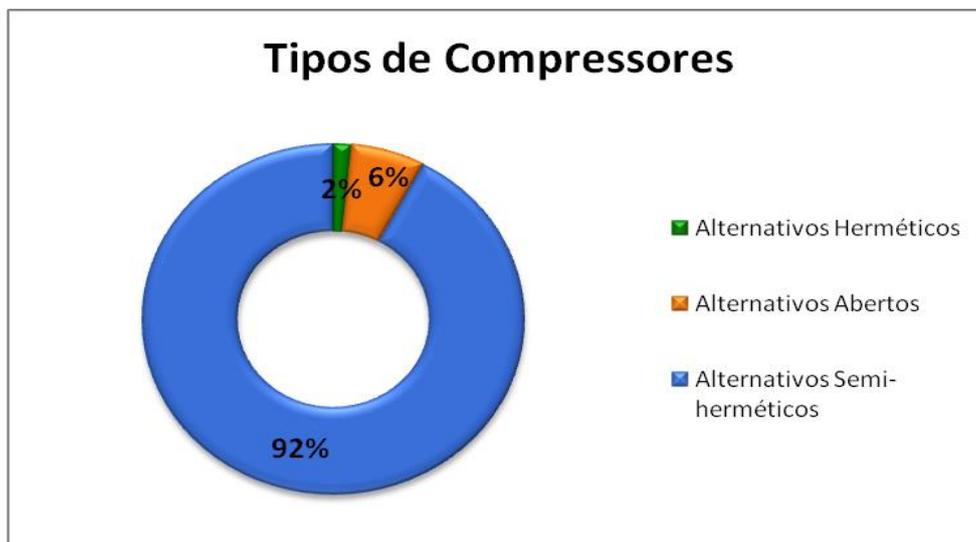



Figura 64 – Tipo de compressores

Tipo de fluido frigorigéneo

O fluido frigorigéno predominante na amostra das indústrias considerada é do tipo R22, verificando-se também a presença de fluido do tipo R404A e água glicolada [Figura 65].

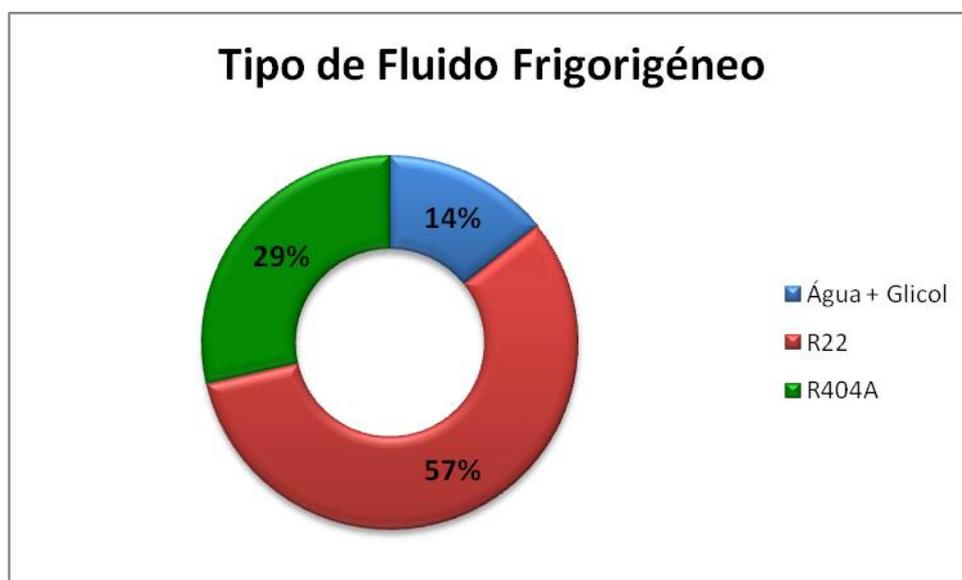



Figura 65 – Tipo de fluido frigorigéneo

5.5. FILEIRA DOS LATICÍNIOS

Em 2011 registou-se praticamente uma manutenção da produção total leite face a 2010.

A produção de leite de ovelha (74 milhões de litros) apresentou uma quebra (-4,9%), comparativamente a 2010, enquanto o leite de cabra, com 27 milhões de litros produzidos, registou um ligeiro aumento (+2,1%) face ao ano anterior.

O leite de vaca, com cerca de 1 906 milhões de litros, manteve o nível de produção relativamente ao ano anterior (+0,4%).

Esta estabilização resulta da conjuntura do setor leiteiro nacional, que atravessa fortes dificuldades. À situação adversa, a nível nacional e internacional, que se arrasta desde 2008, somam-se decisões políticas, quer de âmbito comunitário (de que o desmantelamento do sistema de quotas é o caso mais emblemático), quer a nível interno (com as dificuldades de implementação dos programas de apoio, nomeadamente do ProDeR).

A crise económica prolongada gera o aumento do preço ao consumidor destes produtos, penalizando fortemente o setor, pela diminuição ou abandono do consumo e pela sua transferência para gamas de menor valor. Esta situação tem um impacto gravoso sobre o escoamento e a valorização do leite matéria-prima e sobre os preços dos produtos mais básicos.

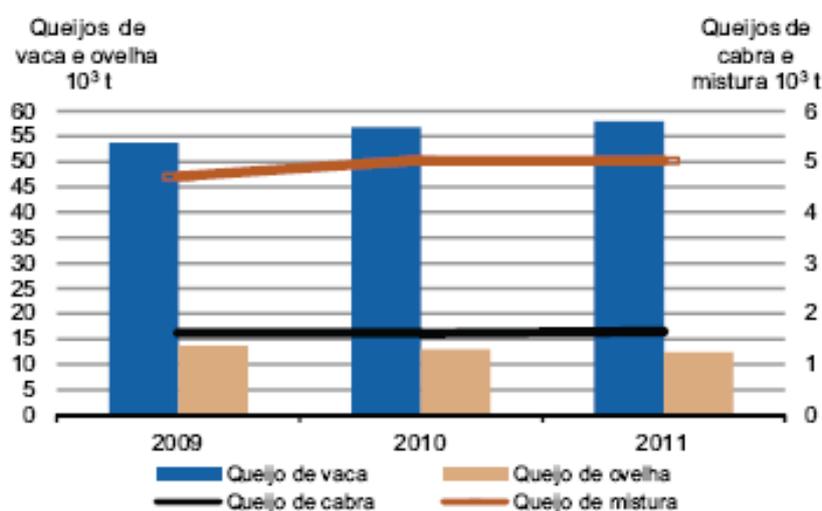



Figura 66 – Produção de queijos

Acrescem ainda as dificuldades de relacionamento da produção com a distribuição, pela concentração e afunilamento do mercado, exigências negociais e pela redução de valor resultante das políticas de aprovisionamento e de comercialização da distribuição.

Esta situação acentua-se pela presença no mercado das chamadas "marcas brancas", em muitos casos com origem em produtos importados.

Em 2011, a indústria de lacticínios nacional direcionou-se para os produtos transformados, nomeadamente o queijo, que com 77 mil toneladas, cresceu cerca de 1% em relação a 2010. Esta evolução resultou sobretudo da orientação para a produção de queijo de vaca (58 mil toneladas) e de cabra (1,7 mil toneladas), que registaram aumentos de cerca de 2%. O queijo de ovelha estreme apresentou uma quebra de 5%, não tendo ultrapassado as 12 mil toneladas no ano em análise.

A produção de manteiga registou também um ligeiro acréscimo em 2011 (+1,7%) relativamente a 2010, tendo sido produzidas 28 mil toneladas.

O volume de produtos lácteos frescos aumentou, graças à maior produção de leite para consumo, que com 852 mil toneladas, registou uma subida de 2,5% face ao ano anterior. Já a produção de leites acidificados (inclui os iogurtes), não ultrapassou as 114 mil toneladas, caindo 1,3% no ano em análise.

Características das Instalações

A amostra das indústrias dos laticínios analisada é caracterizada por um número médio de câmaras frigoríficas igual a 6.

O seu volume médio por câmara é de 253 m^3. A maioria dos espaços refrigerados analisados têm um volume compreendido entre 300 e 450 m^3, sendo o maior espaço composto por 827 m^3 [Figura 67], e o volume total das câmaras das 6 empresas é de aproximadamente 9 614 m^3.

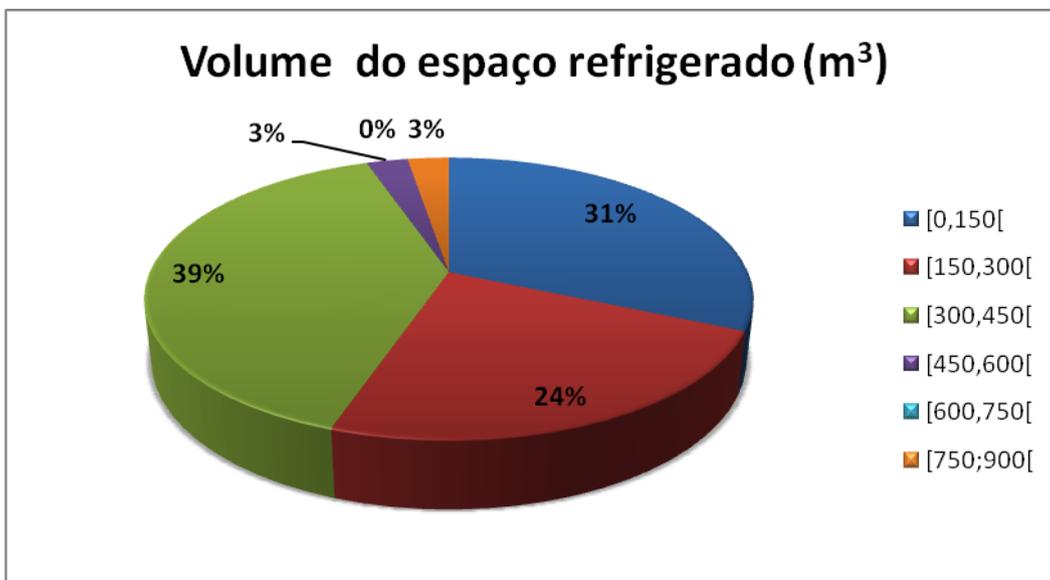



Figura 67 – Distribuição do volume do espaço refrigerado por classes, em m^3

Grande parte das indústrias tem as suas câmaras construídas em painel sandwich, embora a percentagem das câmaras que são construídas em alvenaria com revestimento seja significativa [Figura 68].

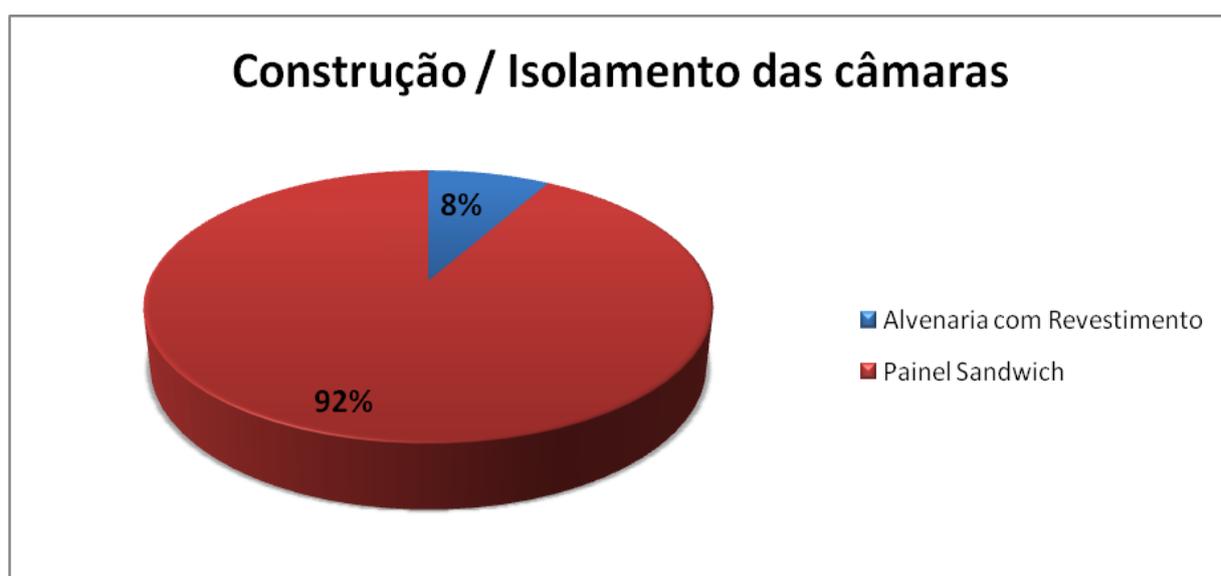



Figura 68 – Tipo de construção/isolamento das câmaras frigoríficas

Processo produtivo

A figura seguinte representa um esquema generalizado do processo produtivo do fabrico de queijo.

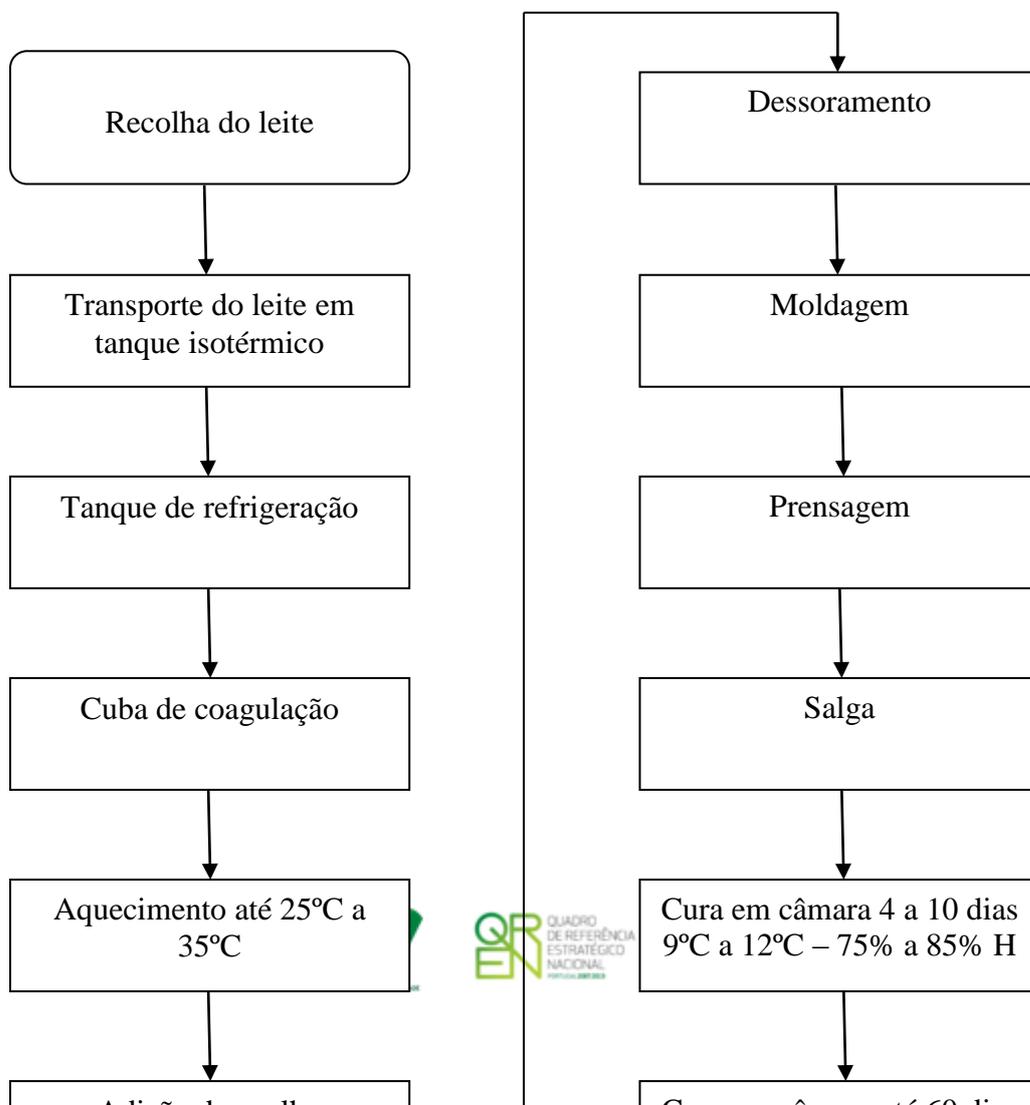



Figura 69 – Fluxograma do processo produtivo do queijo

Tipos de sistemas de refrigeração

As unidades frigoríficas compactas são o sistema mais comum na fileira dos laticínios. Isto deve-se essencialmente às características do processo produtivo [Figura 70].

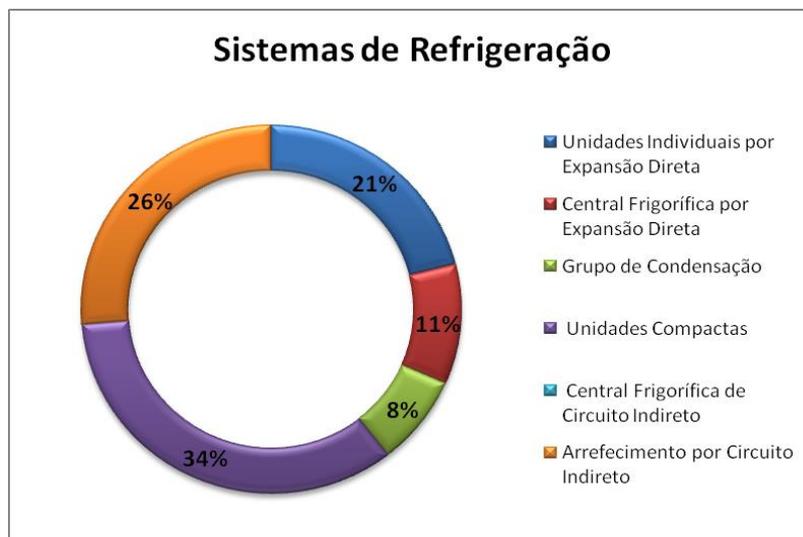



Figura 70 – Tipos de sistemas de refrigeração

Tipos de compressores

Os compressores mais utilizados nas empresas alvo de estuda da fileira dos laticínios são do tipo alternativos semi-herméticos [Figura 71].

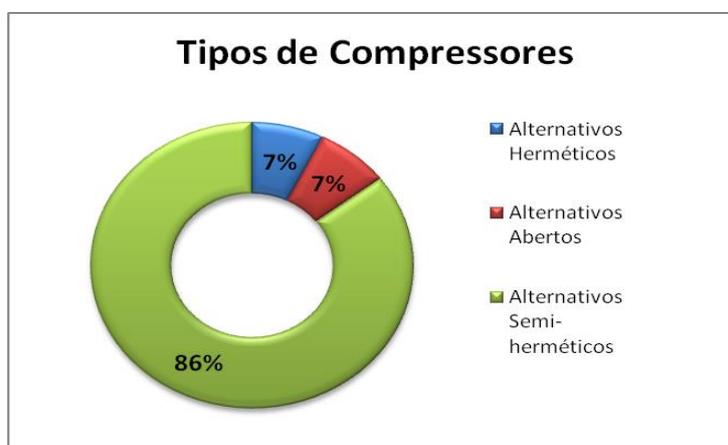



Figura 71 – Tipos de compressores

Tipo de fluido frigorigéneo

O fluido frigorigéno predominante na amostra das indústrias considerada é do tipo R22, verificando-se também a presença de fluido do tipo R404A, água e água glicolada [Figura 72].

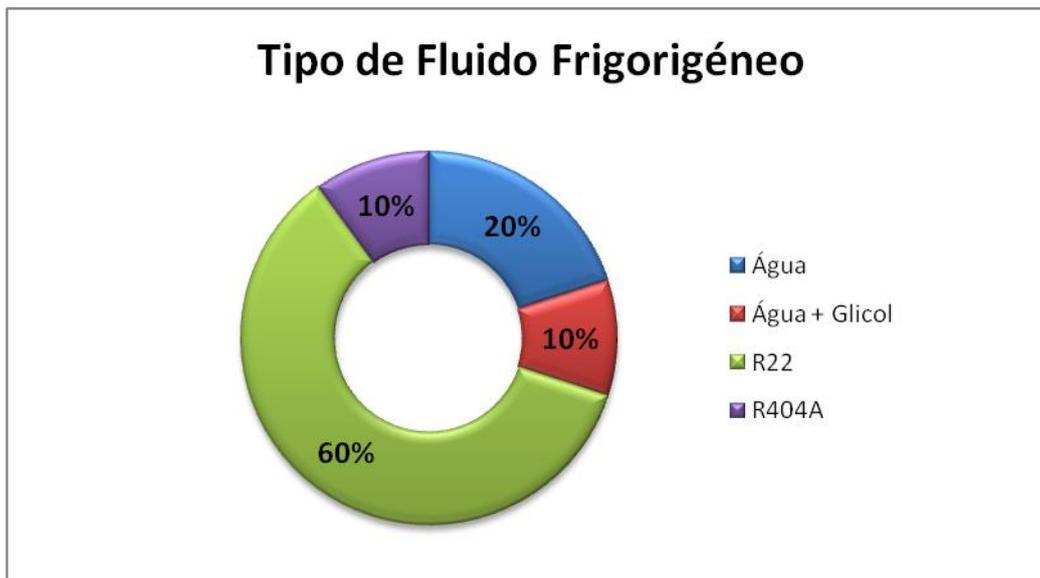



Figura 72 – Tipo de fluido frigorigéneo

BIBLIOGRAFIA

[1] Luis Rochartre, Susana Azevedo, João lavares, “notas prévias”, Manual de boas praticas de eficiência energética, ISR, Coimbra, 2005,2.
[2] Luis Rochartre, Susana Azevedo, João lavares, “notas prévias”, Manual de boas praticas de eficiência energética, ISR, Coimbra, 2005,7.
[3] Luis Rochartre, Susana Azevedo, João lavares, “notas prévias”, Manual de boas praticas de eficiência energética, ISR, Coimbra, 2005,8.
[4] Alda Carvalho, consumo de energia, Estatística e o ambiente, INE, Lisboa, 2011,28.
[5] Alda Carvalho, consumo de energia, Estatística e o ambiente, INE, Lisboa, 2011,29.
[6] http://www.arecba.pt/noticia/1302187280arecba.pdf
[7]http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf
[8]http://www.eumed.net/libros/2010c/723/TIPOS%20DE%20INDICADORES%20DE%20EFICIENCIA%20ENERGETICA.htm
[9] European Comission Joint Reseach Center, “IPPC Draf Reference Document on Energy Efficiency Techniques”, Draf Abril 2006.
[10] European Comission Joint Reseach Center, “IPPC Draf Reference Document on BAT in the Ceramic Manufacturing Industry”, Dezembro 2006.
[11] European Comission, “IPPC Draf Reference Document on BAT in the Cement and Lime Manufacturing Industries” Dezembro 2001.
[12] European Comission, “IPPC Draf Reference Document on BAT in the Ferrous Metals Processing Industry”, Dezembro 2001.
[13]Secretaria de Estado de Energia, Desarrollo Industrial e de la Pequeña y Mediana Empresa – Ministerio de Economia, “Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004 – 2012.
[14] E. Worrell J-W. Bode, J. de Beer, “Analysing research and technology development strategies – The ‘Atla’ project: Energy efficient technologies in industry”, Utrecht University, Holanda 1997
[15] Martin N., Worrell E., Ruth M., Price L. et al., “Emerging energy-efficient industrial technologies”, Report LBNL46990, Ernest Orlando Lawrence Berkleley National Laboratory, Outubro 2000.
[16]http://www.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/pub-medidas-eficiencia-energetica-industria.pdf
[17] http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9trico
[18] http://www.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/GuiaDexaMCP.pdf
[19]http://www.google.pt/imgres?q=motore+eletrico+corrente+continua+componentes&hl=en&sa=X&biw=1280&bih=677&tbm=isch&prmd=imvns&tbnid=8r2icREzZTYlyM:&imgrefurl=http://motoreseletricosfisica3m4magelinha.blogspot.com/&docid=O2pkDioUazgfSM&imgurl=

http://3.bp.blogspot.com/_cNKJ1MVu_nM/TGS7k_ithLI/AAAAAAAAAD8/EHbwRU1fgck/s1600/IMAGIM%252B2.gif&w=374&h=296&ei=y6yRUJKhFJS4hAfW54DgCQ&zoom=1&iact=rc&dur=419&sig=100527352627788066567&page=1&tbnh=135&tbnw=170&start=0&ndsp=21&ved=1t:429,i:72&tx=48&ty=72

[20]http://www.google.pt/imgres?q=motor+electric+AC+components&hl=en&sa=X&biw=1280&bih=713&tbm=isch&prmd=imvns&tbnid=qyR1-VtDJu2icM:&imgrefurl=http://www.reliance.com/mtr/mtrthrmn.htm&docid=7gxXX0EoFsbvvM&imgurl=http://www.reliance.com/mtr/images/mtfig8.gif&w=470&h=236&ei=1KuRUNbpOseFhQfQ34DAAQ&zoom=1&iact=rc&dur=534&sig=100527352627788066567&page=1&tbnh=138&tbnw=275&start=0&ndsp=21&ved=1t:429,i:68&tx=154&ty=70

[21] http://www.adene.pt

[22] http://www.iea.org/

[23] www.fem.unicamp

[24]http://www.eoi.es/wiki/index.php/Calderas,_generadores_de_vapor,_hornos_y_secaderos_en_Eficiencia_energ%C3%A9tica

[25] Meherwan P. Boyce, Handbook for Cogeneration and Combined Cylce Power Plants(2002)

[26] http://www.cogenrio.com.br/Prod/OQueECogeracao.aspx

[27] http://servicos.coelba.com.br/comercial/energia-reativa

[28] http://www.ebah.com.br/content/ABAAABi_IAL/refrigeracao-industrial

[29] http://www.polo.ufsc.br/fmanager/polo/arquivos_materia/arquivo31_1.pdf

[30] Marcelino Nascimento da Silva - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL E COMERCIAL

[31]ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM182/REFRIGERACAO/apostila/15_REFRIGERANTES.pdf

[32] Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia – Apostila de Refrigeração

[33] http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe4zIAB/caldeiras

[34] http://www.ebah.com.br/content/ABAAAALEgAE/caldeiras-aquatubulares

[35] Deloitte – Federação das Indústrias Portuguesas Agroalimentares

[36] Avaliação da qualidade e segurança alimentar pela previsão do crescimento microbiano em diferentes condições de conservação, P. D. Gaspar 1*, C. Domingues2, L.C.C. Gonçalves 1 e L. P. Andrade2

[37] Estudo Perliminar – Estado da arte do setor do frio por fileira – Fileiras Agroalimentares: Eficiência Energética e Distribuição (Transportes)

[38] Estudo Perliminar – Estado da arte do setor do frio por fileira – Fileiras Agroalimentares: Segurança alimentar e armazenamento

[39] Estudo Perliminar – Estado da arte do setor do frio por fileira – Fileiras Agroalimentares: Carnes e laticínios

SCHIPPER L.; Grubb M. On the rebound? Feedback between energy intensives and energy uses in IEA countries. Energy Policy. Vol. 28 No 6-7, 2000.

BOSSEBOEUF. D.; Chateau B.; Lapillonne B. Cross-country comparison on energy efficiency indicators: the on-going European effort towards a common methodology. Energy Policy. V. 25. No. 7-9. 1997.

EICHHAMMER, W.; Mannsbart W. Industrial energy efficiency. Indicators for a European cross-country comparison of energy efficiency in the manufacturing industry. Energy Policy. Vol.25. no 7-9, 1997.

SZARGUT (1980). In: Horta Nogueira, L.A.; Perez, S.A.N.; Oliveira Junior, S.; Minicurso: Análise exegética de processos. SP. De 7 a 9 de Dezembro, 1994. p. 21.

HORTA NOGUEIRA, L.A.; Perez, S.A.N.; Oliveira Junior, S.; Mini-curso: Análise energética de processos. SP. De 7 a 9 de Dezembro, 1994.

BAEHR (1965). In: Horta Nogueira, L.A.; Perez, S.A.N.; Oliveira Junior, S.; Minicurso: Análise exegética de processos. SP. De 7 a 9 de Dezembro, 1994. p. 19

OLIVEIRA JÚNIOR, S. Análise termodinâmica e termoeconômica de processos de conversão de energia. Mineo. 1996.

GOLDEMBERG, J. Energia, suas fontes e seus usos. Mimeo, SP, 1983

PATTERSON. M.G. What is energy efficiency? Energy Policy. Vol. 24.

HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006

Anexo I – Diretrizes Auditoria